

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Aplikace FV panelů do městské zástavby

vedoucí práce: Ing.Milan Bělík Ph.D
autor: Zdeněk Šustr

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeněk ŠUSTR**
Osobní číslo: **E10N0181P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Aplikace FV panelů do městské zástavby**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:


1. Uveďte základní vlastnosti solárního záření a možnosti jeho využití.
2. Navrhněte fotovoltaický systém pro konkrétní objekt.
3. Zhodnoťte navržený systém z energetického, ekonomického a environmentálního hlediska.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. Poulek, V., Libra, M. : Solární systémy

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato diplomová práce popisuje návrh fotovoltaického systému pro rodinný dům. Návrh je proveden porovnáním dvou různých konceptů s různými komponenty a zapojeními. Součástí práce je také zhodnocení výsledků a to z hlediska energetického i ekonomického. V poslední kapitole je rozebrána problematika ekologičnosti fotovoltaických systémů.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, sluneční záření, fotovoltaický systém, fotovoltaický panel, zelený bonus, měnič napětí, návrh fotovoltaického systému, instalovaný výkon

Application of PV pannels into urban area

Abstract

This thesis describes the design of a photovoltaic system for family house. The proposal is made by comparing two different concepts with different components and connections. The work also includes evaluation of the results in terms of the energy and economics. The last chapter analyzes the problems of environmental performance of photovoltaic systems.

Key words

Renewable energy sources, solar radiation, photovoltaic system, photovoltaic panel, green bonus, voltage converter, concept of photovoltaic system, installed power

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi Ph.D za profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ	11
1 SOLÁRNÍ ZÁŘENÍ	12
1.1 VLASTNOSTI SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ.....	12
1.1.1 <i>Spektrum a vlnová délka</i>	12
1.1.2 <i>Solární konstanta</i>	14
1.1.3 <i>Intenzita záření</i>	14
1.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ.....	15
1.2.1 <i>Pasivní využití</i>	16
1.2.2 <i>Aktivní využití</i>	17
2 NÁVRH FV SYSTÉMU PRO ZVOLENÝ OBJEKT	18
2.1 POPIS ZVOLENÉHO OBJEKTU	19
2.2 ZHODNOCENÍ LOKALITY	19
2.3 TYP A VOLBA FV SYSTÉMU.....	21
2.3.1 <i>Systémy OFF-GRID</i>	21
2.3.2 <i>Systémy ON-GRID</i>	23
2.3.3 <i>Hybridní systémy</i>	24
2.4 NÁVRH A VOLBA KOMPONENT.....	25
2.4.1 <i>Základní pravidla zapojování FV panelů</i>	25
2.4.2 <i>Varianta A</i>	25
2.4.2.1 <i>Měnič napětí k variantě A</i>	27
2.4.3 <i>Varianta B</i>	28
2.4.3.1 <i>Měnič napětí k variantě B</i>	30
2.4.4 <i>Další komponenty</i>	31
2.4.4.1 <i>Solární kabely a konektory</i>	31
2.4.4.2 <i>Podružný rozvaděč</i>	33
2.4.4.3 <i>Nosná konstrukce</i>	34
3 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU	35
3.1 ENERGETICKÉ HLEDISKO	35
3.1.1 <i>Varianta A</i>	35
3.1.2 <i>Varianta B</i>	38
3.2 EKONOMICKÉ HLEDISKO.....	41
3.2.1 <i>Náklady variant A, B</i>	41
3.2.2 <i>Platby, návratnost</i>	43
3.2.2.1 <i>Varianta A</i>	44
3.2.2.2 <i>Varianta B</i>	45
3.3 ENVIRONMENTÁLNÍ HLEDISKO	46
3.3.1 <i>Životnost</i>	46
3.3.2 <i>Emise</i>	46
3.3.3 <i>Environmentální pohled na výrobu a recyklaci FV panelu</i>	47
4 ZÁVĚR	51
PŘÍLOHY	1
Mapa intenzity slunečního záření	1
Model střechy	2
FV panel Fitcraft FCP280	3

Fronius	4
Sunpower	6
Varianta A	8
Varianta B	11

Úvod

Fotovoltaika jako jeden z obnovitelných zdrojů energie poskytuje mnohé výhody ale i nevýhody oproti klasickým tepelným a jaderným elektrárnám. K nejdůležitějším výhodám patří to, že při provozu nedochází ke znečišťování ovzduší, provoz je spolehlivý, bezhlučný a nevyžaduje prakticky žádnou obsluhu. Mezi nevýhody patří vedle nízké účinnosti přeměny také závislost na místních podmínkách a počasí a tím dochází ke kolísání vyrobené energie.

V předchozích letech (především 2007-2010) nastal velký rozmach v budování fotovoltaických elektráren na střechy rodinných domů, louky, pole atd. Hlavním důvodem byla zákonem garantovaná vysoká výkupní cena a povinná doba výkupu a tím se fotovoltaické elektrárny staly velmi zajímavou investicí s krátkou návratností.

V současnosti již tomu úplně tak není, protože výkupní ceny za 1 kWh jsou mnohem nižší. Navíc v nedávné minulosti (2010-2011) byl nařízen tzv. stop stav, což je zákaz připojování nových výroben elektřiny ze slunečního záření. Byl ale nedávno prolomen.

V méj diplomové práci bych tedy chtěl porovnat dva různé návrhy fotovoltaických systémů a určit, zda je energeticky a ekonomicky hospodárné si při dnešních výkupních cenách a cenách komponent fotovoltaickou elektrárnu pořídit.

Seznam symbolů

<i>Značka</i>	<i>Název</i>	<i>Význam</i>
FVE	Fotovoltaická elektrárna	obecný název
V	volt	jednotka elektrického napětí
A	amper	jednotka elektrického proudu
W	watt	jednotka výkonu
K	kelvin	jednotka termodynamické teploty
AC	-	označení střídavého vstupu/výstupu
DC	-	označení stejnosměrného vstupu/výstupu
E	název veličiny	celková energie
m	název veličiny	hmotnost
m	metr	jednotka délky
λ	lambda	vlnová délka
AM	air mass	masa vzduchu
MPP	-	bod maximálního výkonu
W _p	watt peak	jmenovitá hodnota výkonu při testovacích podmínkách
kWh	kilowatthodina	jednotka výkonu za určitý časový úsek
l	název veličiny	délka
S	název veličiny	průřez vodiče
DPH	-	daň z přidané hodnoty
ERÚ	-	Energetický regulační úřad
VT/NT	-	vysoký/nízký tarif
P _z	-	přebytkový výkon
C _{reg}	-	cena za regulované platby
C _{pov}	-	povinné platby
CO ₂	-	oxid uhličitý

1 Solární záření

Zdrojem slunečního záření je Slunce, což je obrovský termojaderný reaktor o průměru větším než stonásobek průměru Země. V jeho nitru dochází při teplotách $1,5 \cdot 10^7$ K, k jaderné fúzi, při níž se vždy 4 jádra vodíku mění na jádro hélia. Ze vzdálenosti asi 150 milionů kilometrů dodává Zemi spolehlivě a zdarma energii. Slunce lze považovat za černé těleso, což podle Planckova vyzařovacího zákona značí, že vyzařuje energie ve formě elektromagnetického záření v celém rozsahu vlnových délek odpovídající vyzařování černého tělesa o stejné teplotě jako je teplota povrchu slunce 5770 K. Hmota Slunce se původně skládala téměř ze 75% vodíku a asi 25% helia, ostatní prvky tvořily jen asi 1%. Neustále dochází k úbytku hmotnosti Slunce, asi $5 \cdot 10^9$ kg/s, to znamená, že Slunce ztrácí za každou sekundu hmotnost 5 milionů tun. Právě tato ztráta hmotnosti je příčinou ohromné svítivosti Slunce – $3,91 \cdot 10^{26}$ W, což odpovídá energii:

$$E = m \cdot c^2 = 5 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 4,5 \cdot 10^{26} \text{ J/s} \quad (1.1)$$

za rok je to tedy přibližně 10^7 TW, což výrazně převyšuje současnou spotřebu energie na Zemi. Množství dopadajícího slunečního záření závisí na těchto faktorech:

- zeměpisné šířce
- orientaci jímací plochy vůči světovým stranám
- sklonu jímací plochy vůči vodorovné rovině
- místních klimatických podmínkách
- stupni znečištění atmosféry
- délce dne

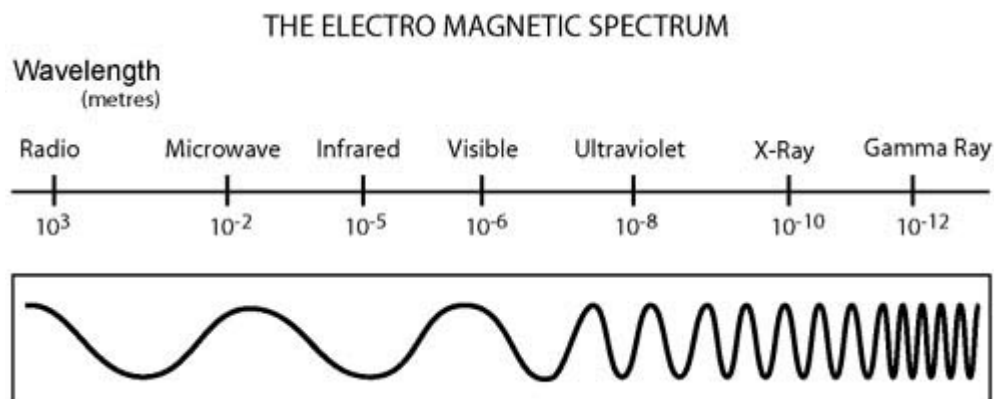
1.1 Vlastnosti solárního záření

V této kapitole jsou rozebrány základní vlastnosti solárního záření, jako je vlnová délka, spektrum solárního záření, solární konstanta a intenzita solárního záření.

1.1.1 Spektrum a vlnová délka

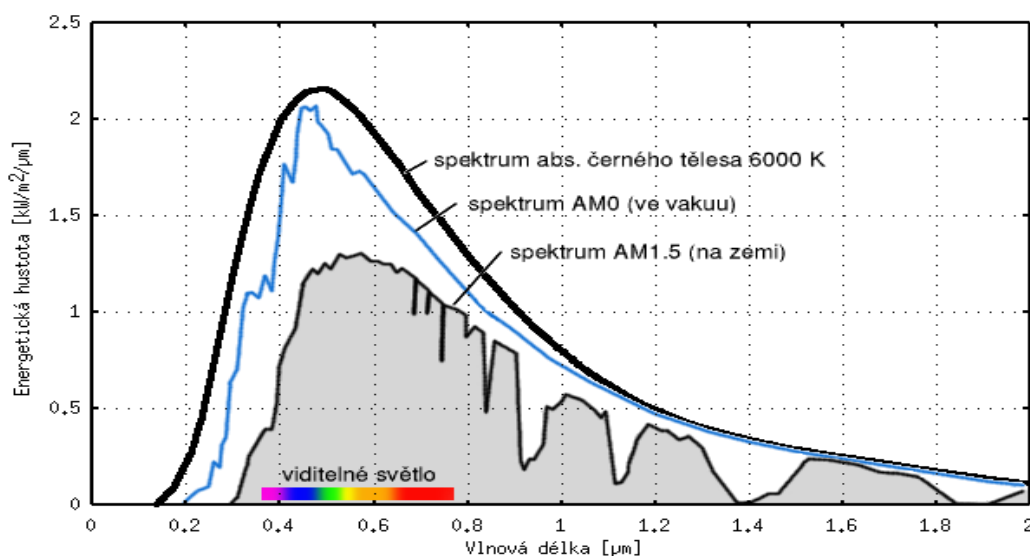
Sluneční záření dopadající na povrch Země je složeno z fotonů s různými vlnovými délkami a tím i různými energiemi. Oblast viditelného záření má vlnové délky od 390 nm do

790 nm. Čím je vlnová délka kratší, tím má záření větší energii. Kratší vlnové délky než viditelné záření (VIS) má ultrafialové záření (UV) $\lambda \in \langle 10^{-8} m; 3,8 \cdot 10^{-7} m \rangle$, ještě kratší vlnové délky má rentgenové záření (X) $\lambda \in \langle 10^{-11} m; 10^{-8} m \rangle$ a nejkratší vlnové délky má záření gama (γ) $\lambda \in \langle 10^{-11} m$. Větší vlnové délky než viditelné záření má infračervené záření (IR) $\lambda \in \langle 7,6 \cdot 10^{-7} m; 10^{-4} m \rangle$, větší vlnové délky mají mikrovlny (μ) $\lambda \in \langle 10^{-4} m; 10^{-1} m \rangle$ a největší vlnové délky mají rádiové vlny (RAD) $\lambda > 10^{-1} m$ [1].



Obr. 1.1 Elektromagnetické spektrum[5]

Část záření je pohlcena atmosférou. Pohlcení se týká ovšem jen některých vlnových délek. Jedná se o celé nejkratší části ultrafialového záření (pohlcované ozónovou vrstvou). Jisté vlnové délky v rozmezí infračerveného záření jsou pohlceny především oxidem uhličitým a vodou (vodními parami). Viditelná oblast spektra je pohlcena jen částečně (závisína síle vrstvy atmosféry, kterou musí záření projít) [7].



Obr.1.2 Závislost energetické hustoty slunečního záření na vlnové délce [6]

AM0 (air mass) je spektrum slunečního záření v kosmickém prostoru ve vzdálenosti 150 miliónů kilometru od slunce bez ovlivnění atmosférou. AM1.5 je modelové spektrum slunečního záření po průchodu bezoblačnou atmosférou. Energetická hustota tohoto spektra je 1 kW/m^2 , silně ale závisí na průhlednosti atmosféry. Celkový teoreticky využitelný výkon slunečního záření odpovídá šedé ploše pod křivkou - AM1.5. Pokud je slunce přímo v zenitu, ve výšce devadesáti stupňů, prochází sluneční záření nejmenší možnou vrstvou vzduchu. Takové spektrum se označuje jako AM1. Pro fotovoltaiku se proto používá spektrum AM1.5, odpovídající výšce slunce přibližně 45° nad obzorem. Sluneční záření v tomto případě prochází jeden a půl násobně mohutnější vrstvou vzduchu [8].

1.1.2 Solární konstanta

Solární konstanta je výchozí údaj pro využívání sluneční energie. Udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy (1 m^2), která je kolmo ke slunečním paprskům. V podstatě má 99,9 % energie dostupné na zemském povrchu svůj původ v energii ze Slunce. Zbývajícími částmi jsou geotermální energie, energie přílivu a odlivu a jaderná energie. Solární konstanta má přibližně velikost $1,373 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje změny ve velikosti solární konstanty přibližně o 3 % (asi 40 W/m^2). Malé změny solární konstanty jsou spojeny s cykly sluneční aktivity, ale ty dosahují maximálně několika desetin procenta.

1.1.3 Intenzita záření

Základní veličinou při popisu slunečního záření je jeho intenzita I [Wh/m^2], kterou definujeme jako množství zářivé energie, která za jednotku času dopadne na jednotku plochy orientovanou kolmo ke slunečním paprskům. V České republice se tato hodnota udává v rozmezí $950 - 1250 \text{ kWh} / \text{m}^2$ za rok. V důsledku filtračního působení atmosféry je povrch Země ozařován s různými intenzitami. V závislosti na počasí a denní době kolísá ozáření v našich zeměpisných šířkách mezi 0 W/m^2 (v noci) a 1000 W/m^2 (při jasné denní obloze kolem poledne). Rozlišuje se přímé a nepřímé (difuzní) záření.

Přímé sluneční záření přichází do oka pozorovatele ze Slunce a vzhledem k velké vzdálenosti Země od Slunce tvoří skupinu prakticky rovnoběžných paprsků. Intenzita

přímého slunečního záření na plochu kolmou k dopadajícím paprskům je definována vztahem:

$$I_{pn} = I_0 \cdot A^{-Z} \quad (1.2)$$

kde: I_{PN} je intenzita přímého slunečního na kolmou plochu (W/m^2)

I_0 je intenzita slunečního záření (solární konstanta)(W/m^2)

A je součinitel, který závisí na výšce Slunce nad obzorem

Z je faktor znečištění (-)

Na všeobecně položenou plochu na zemském povrchu dopadá sluneční záření o intenzitě:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma = I_0 \cdot A^{-Z} \cdot \cos \gamma \quad (1.3)$$

kde: I_p je intenzita slunečního záření na šikmou plochu (W/m^2)

γ je úhel dopadu, který svírají paprsky Slunce s ozařovanou plochou, tento úhel závisí na výšce Slunce

Poměr přímého záření ke globálnímu je v podmínkách České republiky 45% / 65%.

Difuzní záření je rozptýlené světlo po odrazech o molekuly plynů, prachu a mraky, dopadá k zemskému povrchu se stejnou vlnovou délkou jako přímé sluneční záření. Intenzita difuzního záření vzrůstá s faktorem znečištění Z , většinou nepřevyšuje hodnotu 100 při $Z=3$.

Výsledné dopadající záření na danou plochu je součet složky přímé a difuzní a označujeme ho jako globální.

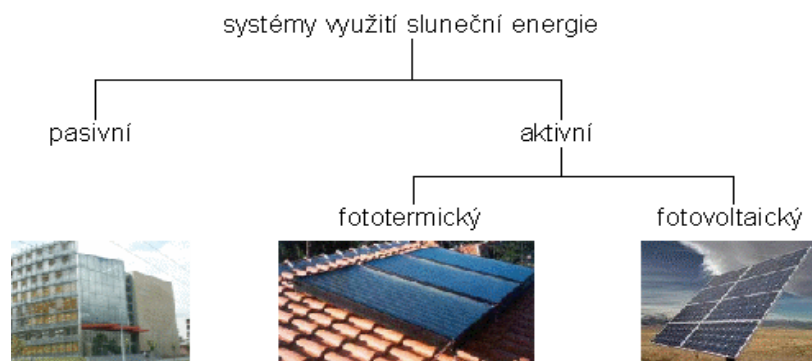
$$I = I_p + I_d \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.4)$$

S rostoucím znečištěním atmosféry celková intenzita záření klesá. Mapa průměrného ročního úhrnu globálního záření v České republice se nachází v kapitole Přílohy.

1.2 Možnosti využití solárního záření

Sluneční energii můžeme obecně použít například pro ohřívání vody, vytápění domů, pro výrobu elektrické energie, pro absorpční chlazení (např. u ledničky, klimatizace), dokonce pro pohon různých zařízení např. Stirlingův motor.

Člověk využívá sluneční energie k výrobě jiného druhu energie mnoha způsoby:



Obr. 1.3 Způsoby využití sluneční energie [11]

1.2.1 Pasivní využití

Jedná se o princip tzv. solární architektury, které vedou k úsporám energie. Mezi základní principy solární architektury patří především vhodná orientace prosklených ploch a tepelně akumulčních stěn, dosažení maximálního objemu stavby za minimálního povrchu obvodových (ochlazovaných) stěn, důkladná tepelná izolace a využití obnovitelných zdrojů pro energetické zásobování stavby. Tzv. sluneční domy jsou navrhovány tak, aby bylo k jejich provozu - hlavně k vytápění - potřeba co nejméně energie a aby se co nejvíce potřebné energie získalo ze slunečního záření. Většina slunečních domů kombinuje také další metody využití sluneční energie - solární kolektory pro ohřev vody, případně i fotovoltaické panely. Tím se výrazně zvýší účinnost celého solárního systému. Pasivní metoda využití slunečního záření je sice levná a jednoduchá, ale má sama o sobě poměrně omezené uplatnění [9].



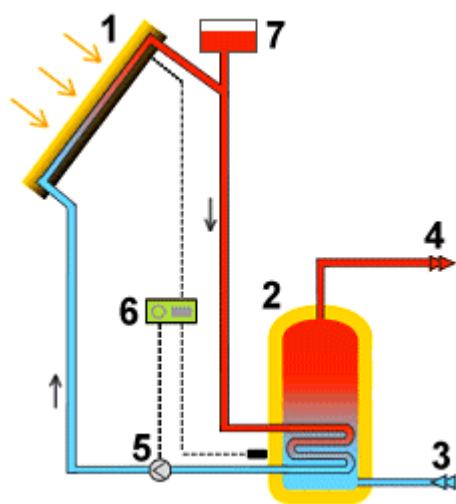
Obr. 1.4 Sluneční dům [10]

1.2.2 Aktivní využití

Při aktivním využívání se sluneční záření přímo přeměňuje na užitečnou formu energie, např. solárním kolektorem, který ohřívá vodu pro nebo prostřednictvím fotovoltaických panelů, které vyrábějí elektrický proud.

Solární kolektory

K vytápění nebo k ohřevu vody sluneční energií nestačí samotný solární kolektor. Připojují se k němu další prvky topné soustavy, které dohromady vytvoří solární systém. Hlavní prvky solárního systému jsou: kolektor, potrubí, zásobník, tepelný výměník, oběhové čerpadlo, expanzní nádoba, regulační prvky aj. Jejich parametry a propojení určují typ systému. Může jít o soustavu pro sezónní nebo celoroční vytápění, oběh teplotnosného média může být samotížný nebo nucený, jednookruhový nebo dvouokruhový. Solární ohřev vody může být kombinován i s jinými zdroji energie (např. elektřina nebo plyn). Ze všech variant uvádím nejpoužívanější dvouokruhový kapalinový solární systém pro celoroční ohřev teplé vody.



1. solární kolektor
2. tepelný výměník
3. přívod studené vody
4. odběr teplé vody
5. oběhové čerpadlo
6. automatická regulace
7. expanzní nádoba

Obr. 1.5 Dvouokruhový solární systém [9]

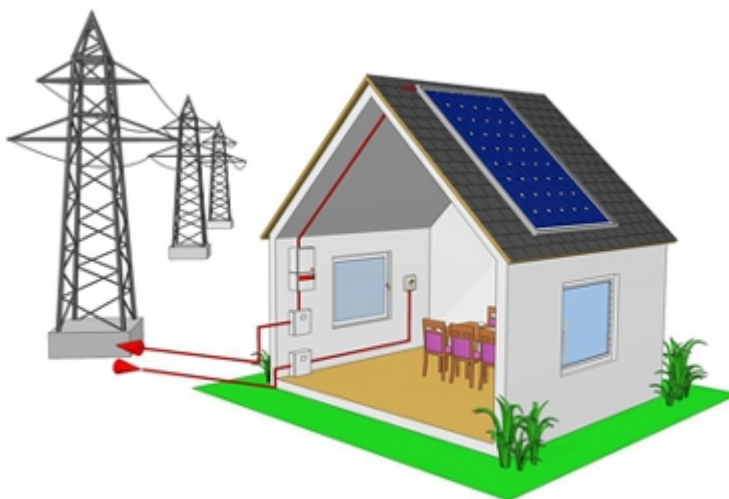
Fotovoltaické panely

Schopnost fotovoltaických panelů přeměňovat sluneční záření na elektrickou energii je založena na fotovoltaickém jevu. Základním prvkem každého FV panelu jsou fotovoltaické články. Jedná se o polovodičovou součástku, v které při dopadu slunečního záření dochází k uvolňování elektronů, což produkuje napětí 0,6 - 0,7 V. V polovodiči tedy vznikají volné elektrické náboje, které jsou jako elektrická energie vyváděny ze solárního článku přes měnič

do akumulátoru, ke spotřebiči nebo do distribuční sítě. Nejvíce rozšířeny jsou dnes fotovoltaické články na bázi křemíku, neboť křemík je hojně zastoupen v zemské kůře (je druhým nejrozšířenějším prvkem), ale je i nejlépe prozkoumaným polovodičem.

Dle typu využití lze systémy s FV panely rozdělit na:

- **ostrovní systémy** – jedná se systémy, které nejsou napojeny na distribuční síť a energie je tedy spotřebovávána nebo akumulována
- **solární systémy zapojené do sítě** – jedná se o systémy, jejichž vyprodukovaná energie je spotřebovávána domácími spotřebiči nebo jinými zařízeními a zbytek dodáván do rozvodné sítě formou zelených bonusů



Obr.1.6 Příklad solárního systému zapojeného do distribuční sítě [12]

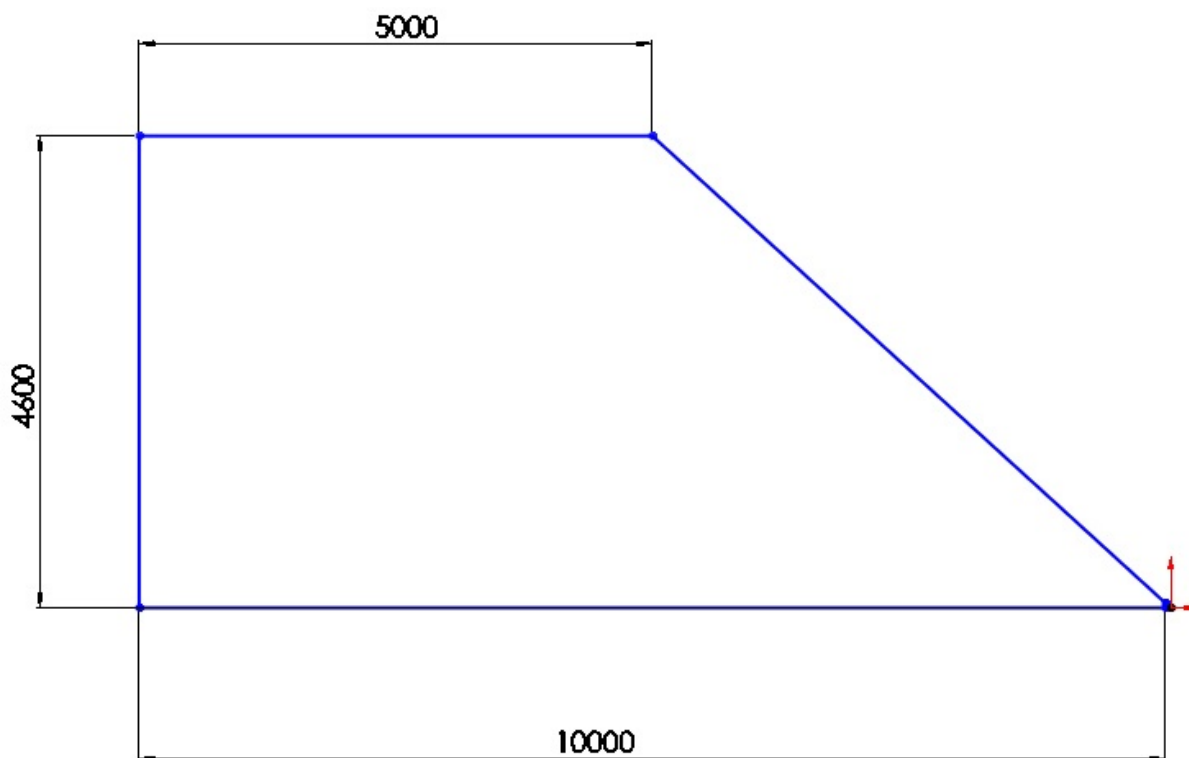
2 Návrh FV systému pro zvolený objekt

Obecně musí zvolený objekt vyhovovat třem základním podmínkám (orientace a sklon střechy a žádné zastínění panelů), které ovlivňují celkový výkon elektrárny a proto pro umístění FVE není vhodná každá střecha. Pro Českou republiku je udáván optimální sklon 35 – 37°. Při menších úhlech se zvyšuje výtěžek v letních měsících a při větších úhlech se výtěžek zvyšuje v zimních měsících. Pro maximální zachycení dopadajícího záření lze použít pohyblivou konstrukci (tzv. tracker, sledovač), ale ta není na šikmé plochy střech příliš vhodná. Optimální orientace střešní plochy je na jih. Odchytky na jihozápad jsou výhodnější než odchytky na jihovýchod a to z důvodu menší dopadající energie v dopoledních hodinách. Důležité také je, aby v blízkosti objektu nebyly žádné překážky (sloupky, lampy, vedení,

stromy atd.), které by mohly vytvářet nežádoucí stín. I malé zastínění způsobí velké úbytky výkonu. Zastíněný fotovoltaický článek se totiž chová jako odpor (spotřebič) v obvodu.

2.1 Popis zvoleného objektu

Mnou vybraný rodinný dům se nachází v Ostrově nad Ohří, v Karlovarském kraji, se souřadnicemi 50°18'11.043"N, 12°56'50.845"E. Fotovoltaickými panely se bude osazovat ničí nestíněná jižní strana sedlové střechy s mírným odklonem na západ (5°), která má tvar pravoúhlého lichoběžníka se sklonem 40° a s následujícími rozměry:



Obr. 2.1 Rozměry střešní plochy k umístění FV panelů (rozměry v mm)

Celková plocha střešní části, kterou je možné osadit FV panely je 34,5m², kvůli přesahům a tvaru budu uvažovat plochu 30m². Celkový model střechy s vyznačenými kótami je k nalezení v kapitole Přílohy.

2.2 Zhodnocení lokality

Následující údaje, tabulky a grafy jsou získané ze stránek PVGIS-Institut pro životní prostředí a udržitelnost. PVGIS poskytuje údaje o energii a intenzitě dopadající záření a také

odhad výroby elektrické energie fotovoltaických systémů pro Evropu, Afriku a středozemní oblast.

Průměrný roční úhrn globálního záření podle dat a mapy vychází: 971kWh/m², 3501-3600MJ/m².

PVGIS Odhady dlouhodobých měsíčních průměrů

Měsíční sluneční ozáření pro konkrétní lokaci

Lokace místa: 50°18'11 N, 12°56'50 E, nadmořská výška: 399 m nm.

Optimální stupeň je podle systému PVGIS 34°, úhel sklonu střechy objektu je 40°.

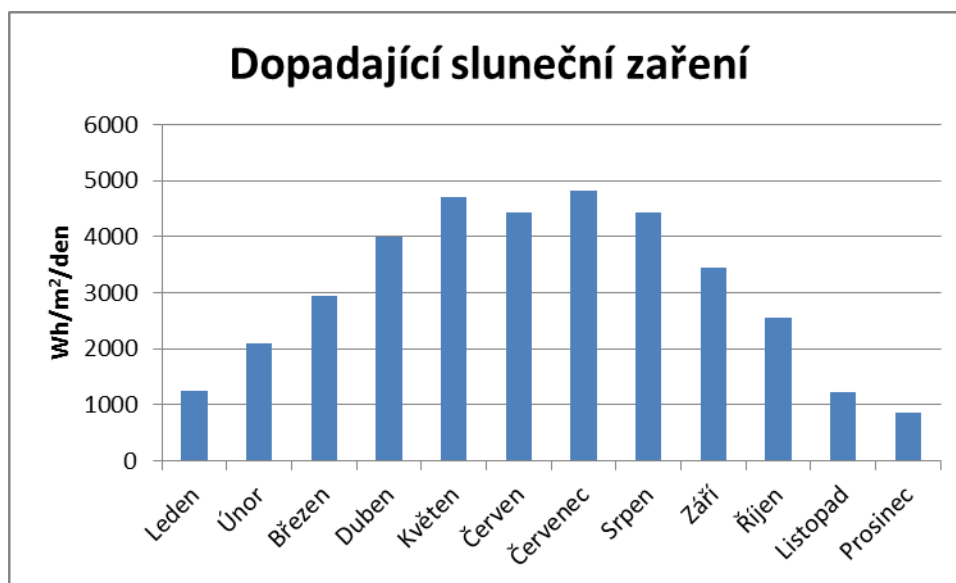
Tab.2.1 Měsíční sluneční ozáření pro konkrétní lokaci

Měsíc	$H(40)$	I_{opt}	T_{24h}
Leden	1250	63	-1.3
Únor	2100	57	0.7
Březen	2950	44	3.5
Duben	4010	32	8.2
Květen	4700	20	13.2
Červen	4430	13	16.0
Červenec	4820	16	17.9
Srpen	4430	27	18.0
Září	3440	41	13.8
Říjen	2560	54	9.6
Listopad	1240	59	3.7
Prosinec	858	62	-0.2
Průměr za rok	3070	34	8.6

kde: $H(40)$: sluneční ozáření na plochu pod úhlem 40°(Wh/m²/den)

I_{opt} : optimální úhel sklonu (°)

T_{24h} : průměrná denní teplota (°C)



Obr.2.2 Graf dopadajícího slunečního záření v daných měsících za rok v dané lokalitě

Roční průměrná doba slunečního záření pro danou lokalitu je hodnota 1445-1502 h.

Roční průměrný počet bezoblačných dní pro danou lokalitu je hodnota 36-41, tzn. přibližně 924h/rok. Nejmenší počet hodin má severo-západ území. Při mírně zatažené obloze klesá množství vyrobené energie na cca 40 % instalovaného výkonu, při silně zatažené obloze klesá až na 15 %.

2.3 Typ a volba FV systému

Typ a volba FV systému závisí na lokalitě, na možnosti a kvalitě připojení distribuční sítě a také na vlastníkovvi, co od systému očekává a co požaduje. Fotovoltaické systémy se dělí na ostrovní (autonomní) systémy OFF-GRID, systémy připojené do distribuční sítě ON-GRID a hybridní solární systémy.

2.3.1 Systémy OFF-GRID

Izolované solární systémy OFF-GRID jsou systémy, které nejsou propojeny s rozvodnou elektrickou sítí a jsou vhodné pro zásobování elektrickou energií tam, kde je napájení z veřejné distribuční sítě nemožné nebo tam, kde by bylo budování nové přípojky technicky či finančně náročné. Veškerá solární energie je tedy spotřebovávána ve vlastních elektrických spotřebičích a zařízeních.

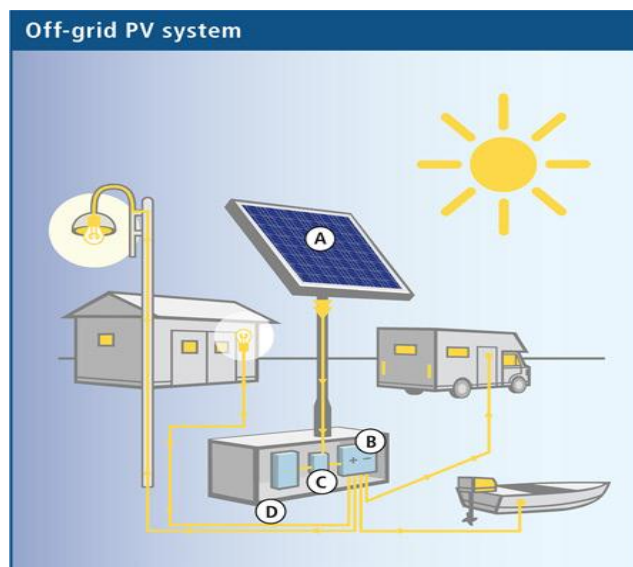
Základními prvky jsou FV panely a měnič napětí pro ostrovní fotovoltaické systémy. Měnič napětí je důležitým prvkem ostrovního systému. Jeho úkolem je přeměnit stejnosměrné napětí na střídavé napětí o velikosti 230V pro napájení běžných síťových spotřebičů. Elektřinu vyrobenou solárními panely je nutno v ostrovních solárních systémech skladovat, aby ji poté bylo možno využít v noci nebo v období s méně příznivým osvětlením. Solární olověné akumulátory jsou v současnosti hlavně z ekonomického hlediska nejvhodnějším a nejvíce osvědčeným řešením. Používají se také v záložních fotovoltaických systémech [12].

Přednosti solárních akumulátorů [12]:

- vyšší odolnost proti hlubokému vybíjení
- nízký minimální nabíjecí proud
- nízké samovybíjení (1-3% za měsíc)
- dlouhá životnost (vysoký počet pracovních cyklů)
- vysoká akumulace el. energie
- gelové - žádné riziko vytečení při překlopení
- dobré ekologické vlastnosti (nízké emise nabíjecího plynu)
- minimální nároky na údržbu (doplnění elektrolytu 1x ročně)
- o 60% větší cyklovatelnost než startovací a trakční akumulátory

Další potřebná součást OFF-GRID systému je regulátor nabíjení. Ten pracuje jako ochrana před přebíjením, současně jako kontrola a odpojení při hlubokém vybití a zároveň jako elektronická pojistka.

- A – fotovoltaické pane
- B–měnič napětí pro ostrovní fotovoltaické systémy
- C – regulátor nabíjení
- D – solární akumulátor



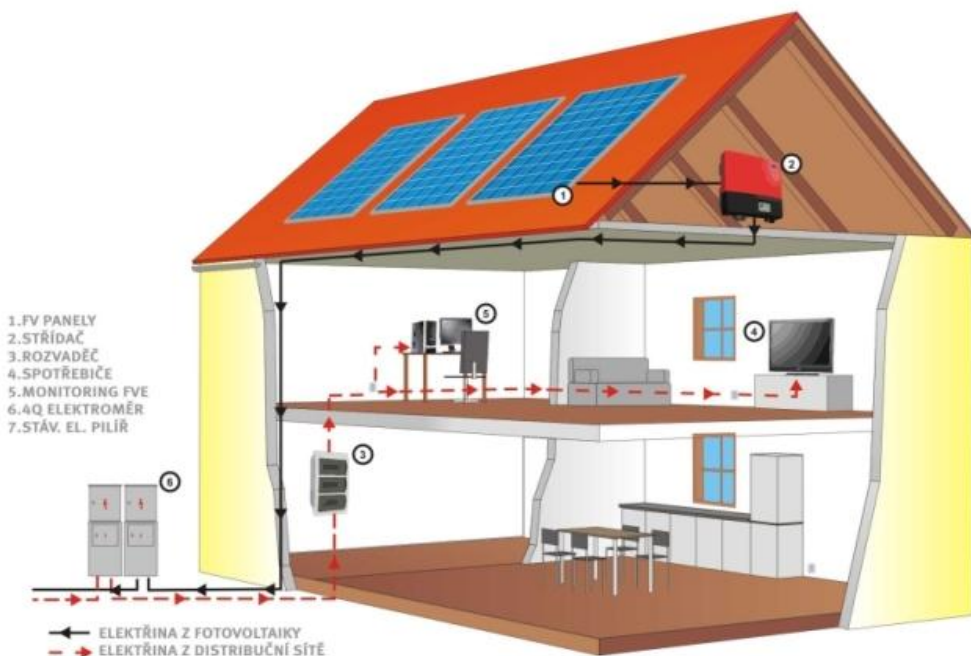
Obr.2.3 Fotovoltaický systém OFF-GRID[17]

2.3.2 Systémy ON-GRID

ON-GRID systémy se používají tam, kde je k dispozici přípojka na veřejnou distribuční síť střídavého napětí. Solární proud se přivádí do této sítě. Zde rozlišujeme dva způsoby přívodu. Vyrobený solární proud se buď přímo přivádí do veřejné elektrické sítě nebo se nejprve spotřebovává v objektu, kde je systém instalován prostřednictvím domácí rozvodné sítě, a pouze v případě přebytku energie probíhá přívod do veřejné elektrické sítě. Vazebním prvkem mezi veřejnou sítí a solárním modulem je měnič stejnosměrného proudu na střídavý, neboli střídač pro paralelní provoz se sítí. Tento střídač se automaticky sfázuje se sítí a obsahuje i automatické odpojení v případě výpadku sítě [2].

Rozlišujeme tedy dva typy připojení:

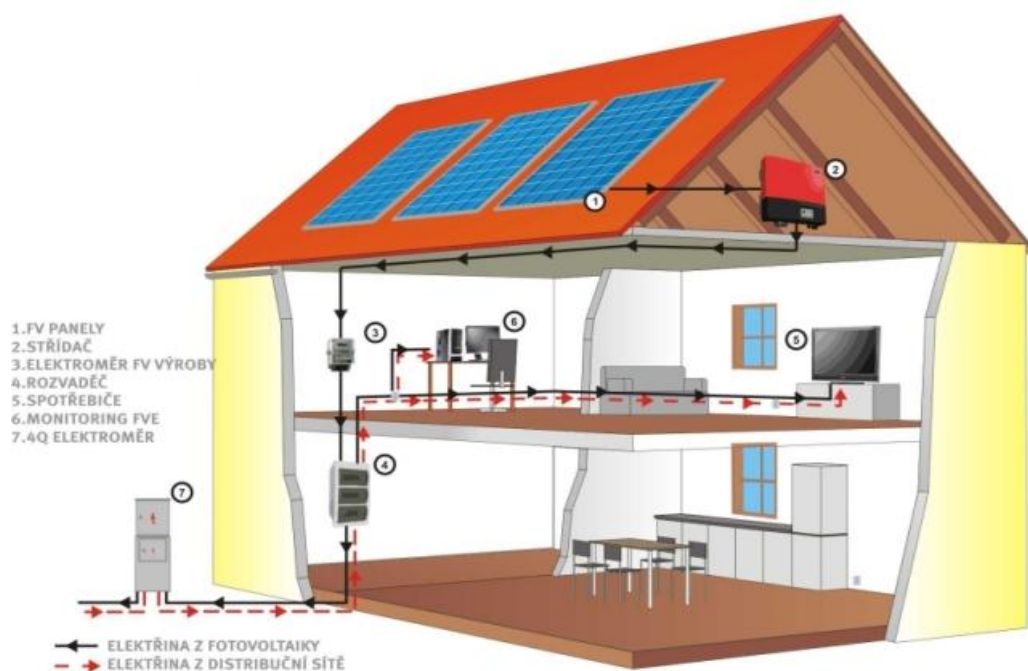
- **Povinný výkup** - vyrobená energie je dodávána přímo do distribuční sítě bez možnosti jejího využití pro vlastní spotřebu. Nutností u tohoto typu připojení je zřízení nového odběrného místa distributorem elektřiny (ČEZ, E-ON, PRE) a napojení FVE přímo na toto odběrné místo. Odběrné místo musí být většinou upraveno, někdy jsou nutné stavební úpravy či zemní práce. Z tohoto důvodu je celková investice vyšší, výkupní ceny jsou však výhodnější.



Obr.2.4 Objekt s variantou povinného výkupu[18]

- **Zelený bonus** - vyrobená energie je dodávána do rozvaděče v objektu s možností využití pro vlastní spotřebu. Při tomto typu připojení není nutné zřizovat nové

odběrné místo. Nespotřebovaná energie odchází již stávajícím vedením do distribuční sítě a je jako přebytek vykoupena distributorem. Výkupní ceny energie jsou oproti povinnému výkupu zpravidla nižší. Nutnost stavebních úprav je však většinou minimální, a proto vychází celková investice nižší a její návratnost kratší.



Obr.2.5 Objekt s variantou zeleného bonusu[18]

Mnou vybraný a uvažovaný systém pro návrh fotovoltaické elektrárny je ON-GRID s možností odkupu přebytečné energie formou zelených bonusů.

2.3.3 Hybridní systémy

Hybridní fotovoltaický systém je v podstatě kombinací klasické síťové elektrárny a ostrovního systému. Největší výhodou hybridních fotovoltaických elektráren budovaných v současnosti je nezávislost na udělování povolení připojení k distribuční soustavě. Nespornou výhodou hybridního fotovoltaické elektrárny je již integrovaná funkce pro využití přebytečné energie ve výkonových špičkách, kdy inteligentní hybridní měnič již dnes dokáže přesměrovat přebytečnou energii v reálném čase či s řízeným zpožděním do předem určených, energeticky náročných spotřebičů. Vyrobenou energii lze ukládat do akumulátorů a večer ji spotřebovat, což ušetří finance, neboť nebude potřeba nakupovat tolik energie ze sítě. Hybridní systém zajistí pokrytí elektřiny po dobu kapacity a nabití akumulátorů. Díky

špičkovým hybridním měničům napětí, které používáme, je po dobu "stop stavu" celý systém galvanicky oddělen od distribuční soustavy [13].

2.4 Návrh a volba komponent

Navrhl jsem dvě varianty FV systému s různými typy panelů.

2.4.1 Základní pravidla zapojování FV panelů

U panelů zapojených v sérii se sčítá napětí jednotlivých panelů, zatímco proud zůstává stejný. Paralelním zapojením stringů (větví) panelů se naopak zvětšuje proud a napětí zůstává stejné. K tomu, aby bylo možné stringy FV panelů paralelně zapojit, musí mít všechny stejnou délku, a tím i stejné napětí. Minimální a maximální možné délky stringů vyplývají z rozsahu vstupního napětí střídače a z teplotního chování panelů. Maximální možný počet paralelně zapojitelných stringů je závislý na proudové zatížitelnosti střídačového vstupu a na proudu panelu v oblasti MPP. V případě dvou paralelně zapojených stringů lze počet panelů v generátoru zvyšovat vždy pouze v krocích po dvou, protože napětí, a tím i počet panelů musí být pro všechny stringy identické. Prvočísla tak jsou v počtu panelů hned vyloučena, pokud je zapotřebí použít více než jeden string.

2.4.2 Varianta A

Varianta A se skládá z 12ti fotovoltaických panelů FCP280 od výrobce FitCraft Production a.s.. Panely jsou zapojeny sériově. Zvolil jsem tento typ panelu kvůli jeho vysokému nominálnímu výkonu a je cenově dostupnější než jiné modely. Maximální výkon tohoto navrženého systému při ideálních podmínkách je 3,36 kW.

Základní údaje FV panelu:

Výrobce: FitCraft FCP280

Hmotnost: 22 kg

Rozměry: 1945x985x45 mm

Počet článků: 72 ks

Nominální výkon: 280 Wp

MPP modulu: 38,5 V

Účinnost: 16,6%



Obr.2.6 FV panel FCP280[19]

Tolerance výkonu: max. $\pm 5\%$

Cena: 7560,- Kč za 1ks

Podrobný popis vlastností je k nahlédnutí v kapitole Přílohy.

O výrobci:

Společnost FitCraft je český výrobce fotovoltaických panelů sídlící v Novém Jičíně. Jejich panely se vyvázejí do Německa, Anglie, Slovenska, Indie, Itálie, ale převážná část je instalována v ČR. Firma se již delší dobu zabývá výrobou malých solárních panelů pro různé aplikace s výkonem od 0.5W až do 15W.

Reference:

V roce 2009 společnost FitCraft ve spolupráci s instalačními firmami nainstalovala dohromady 641kW .

Blansko

Instalovaný výkon: 7,8 kW

Panely: FCP 270

Stav realizace: Dokončeno 2009, uvedeno do provozu



Rakovník

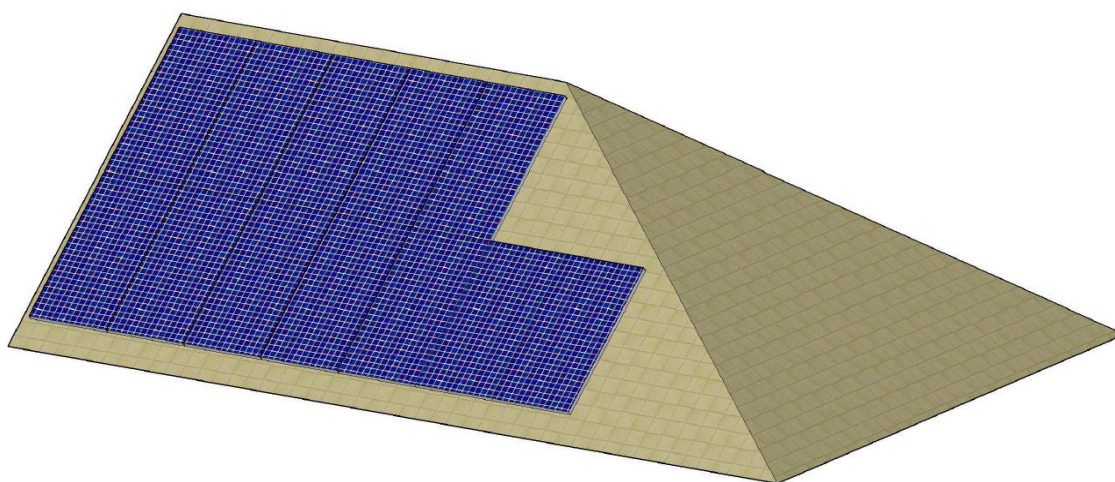
Instalovaný výkon: 3 kW

Panely: FCP 170

Stav realizace: Dokončeno 2009, uvedeno do provozu



Obr.2.7 Příklady instalovaných FVE[19]



Obr.2.8 Rozložení FV panelů FCP280 na střeše objektu

2.4.2.1 Měníč napětí k variantě A

K FV systému jsem vybral na základě jednoduchých výpočtů vhodný měnič napětí.

Řídící ukazatelé pro volbu měniče:

$$\text{Celkový výkon FVE: } P_{\text{celk}} = 12 \cdot 280\text{W} = 3360\text{W} = 3,36\text{kW} \quad (2.1)$$

$$\text{Výstupní napětí z FVE: } U_{\text{výst}} = \text{MPP}_{\text{mod}} \cdot 12 = 38,5 \cdot 12 = 462\text{V} \quad (2.2)$$

OnGrid síťový měnič Fronius IG3.6 TL

Střídač Fronius IG TL standardně obsahuje monitoring systému s funkcí Status Manager.

To zahrnuje následující :

- detekce vadné větve
- detailní stavové kódy
- přímý signálový kontakt

Status Manager okamžitě ohlásí jakékoli problémy v rámci celého systému, což umožňuje maximalizovat výnosy na dlouhou dobu. Fronius IG TL má také jednu unikátní vlastnost, běžně dostupné USB Flash paměti lze využít pro snadné monitorování systému, stejně jako pro jednoduchou aktualizaci střídače.

Vlastnosti měniče:

- Max. výkon DC 3840 W
- Rozsah napětí MPP 350 - 700 V
- Max. vstupní napětí 850 V
- Max. vstupní proud 11 A
- Jmenovitý výkon AC 3680 W
- Max. výstupní výkon 3680 W
- Max. účinnost 97,7 %
- Účinnost Euro 97,1 %
- Účinnost přizpůsobení MPP 99,9 %
- Jmenovité napětí / frekvence 230 V / 50 Hz
- Síťové připojení 1 fázové
- Cena: 39150 Kč



Obr.2.9 Fronius IG3.6 TL[16]

Podrobné parametry jsou k nalezení v kapitole Přílohy.

O výrobci:

FRONIUS Česká republika s.r.o. působí v ČR od roku 1991. O rok později byl otevřen výrobní závod v Českém Krumlově, kde se také nachází sídlo firmy. V Praze vyrůstá nové obchodní centrum pro všechny obory: svařovací techniku, solární zařízení a nabíjecí systémy.

Výrobní lokality:

Rakousko: Sattledt, Pettenbach, Wels

Česká republika: Český Krumlov

Ukrajina: Kyjev

Reference:

FVE Nymbursko

Fotovoltaická elektrárna s výkonem 9kWp na střeše RD. Fotovoltaické panely CSI a byl použit měnič Fronius IG .

Postaveno: duben 2010

Doba výstavby: 5 dnů



Obr.2.10 FVE Nymbursko[16]

2.4.3 Varianta B

Varianta B se skládá z 18ti fotovoltaických panelů SunPower 230E WHT-D. Podélné rozložení panelů efektivně využívá plochu střechy. Tyto panely jsem vybral na základě doporučení, důvěryhodnosti výrobce a také pro efektivní zaplnění plochy střechy a v neposlední řadě kvůli vysoké účinnosti. Panely jsou zapojeny do dvou paralelních větví (stringů). Napětí v paralelních větvích bude $U_{\text{string}}=364,5\text{V}$. Maximální výkon tohoto fotovoltaického systému je 4,14kW.

Základní údaje FV panelu:

monokrystalický křemíkový panel

Typ: SunPower 230WHT

Rozměry: 1599x789 mm

Nominální výkon: $P_{\max} = 230\text{W}$

Účinnost: $\eta = 18,5\%$

$V_{\text{mpp}} = 40,5\text{ V}$

Max.systémové napětí: $U_{\text{max}} = 600\text{V}$

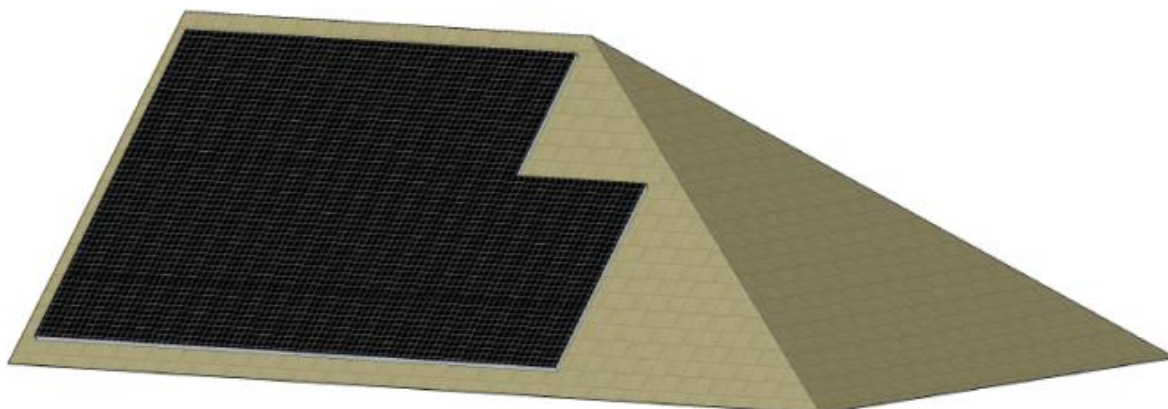
$I_{\text{mpp}} = 5,68\text{A}$



Cena: 17520kč za 1ks

Obr.2.11 Sunpower 230WHT[20]

Podrobné parametry jsou k nalezení v kapitole Přílohy.



Obr.2.12 Rozložení panelů Sunpower 230WHT na střeše objektu

O výrobcí:

SunPower je americký výrobce fotovoltaických panelů. Firma byla založena roku 1985 a dnes je světovým lídrem ve vývoji vysoce účinných solárních řešení pro podniky, domácnosti a komerční budovy. Solární články společnosti SunPower v současné době drží světový rekord v účinnosti jednotlivých článků a to je až 22,4 %. To je důvod, proč solární panely mohou dodávat až o 50 % více energie než běžné panely.

Životnost fotovoltaických panelů značky SunPower je minimálně 30 let. V průběhu let se výkon slunečních panelů snižuje. Výrobci po 12 letech provozu garantují účinnost solárních panelů 90%. Po 25 letech je garantovaná účinnost 80%. Několikaletým měřením v Německu bylo prokázáno, že fotovoltaické panely značky SunPower vyrobí z instalované

1kWp přibližně 1100 kWh elektrické energie za rok. To je o 10% více, než u ostatních měřených panelů. Dále bylo reálným měřením zjištěno, že po 9 letech instalovaných panelů značky SunPower klesl nominální výkon panelů o pouhé 1% [14].

Reference:

FVE LÁZNIČKA 16,9 kWp

-fotovoltaické panely SUNPOWER SPR-225-WHT-i

-konstrukce na vodorovné střechy



Obr.2.13 FVE Láznicka[21]

FVE BENDA 291,60 kWp

fotovoltaické panely SUNPOWER SPR-225-

WHT-i, měniče napětí SMA 7000HV, trackery



Obr.2.14 FVE Benda[22]

2.4.3.1 Měníč napětí k variantě B

Pro variantu B jsem použil také měnič od firmy Fronius jako v případě varianty A, ale jiný typ, protože špičkový výkon FVE v této variantě vychází vyšší a to 4,14kW. Použil jsem tedy Fronius IG 4 Plus/50V-1

Základní parametry:

Výrobce: Fronius Česká republika s.r.o.

Typ: Fronius IG 4 plus/ 50V-1

DC maximální výkon: 4260W

Max. vstupní proud: 18,5 A

Max. vstupní napětí: 600 V

MPP rozsah napětí: 230 - 500 V

Max. účinnost: 95.7 %



Obr.2.15 Fronius IG 4 plus[16]

Evropská účinnost: 95 %
MPP účinnost přispůsobení: 99.9 %
Síťové připojení: 1~NPE 230 V
Faktor zkreslení: < 3 %
Účinník: 1

2.4.4 Další komponenty

K realizovatelnosti FV systému je nutná odpovídající nosná konstrukce, propojovací kabely, konektory, jističe, svodiče přepětí, ochrany a případně i monitorovací systém výroby solární energie.

2.4.4.1 Solární kabely a konektory

Solární propojovací kabely jsou důležitou součástí návrhu FVE, neboť celý systém je s nimi pospojován a vznikají v nich výkonové ztráty. V literatuře se ztráty v solárních kabelech udávají přibližně 2-4%.

Kabely pro solární panely musí obecně splňovat několik základních požadavků:

- nízký ztrátový odpor a optimální kapacitu / indukčnost pro minimalizaci ztrát generovaného výkonu;
- vysokou mechanickou odolnost a stálost parametrů za různých podmínek;
- vysokou odolnost proti klimatickým podmínkám.

Obzvláště je důležitá právě dlouhodobá stálost elektrických i mechanických parametrů a odolnost proti všemu s čímž se může ve venkovních podmínkách setkat. Zvláště v případě umístění na střechách musí být materiál vnějšího pláště odolný vůči teplotě (někdy až od -40 °C do +120 °C), degradujícímu UV záření, ozónu, celý kabel mechanicky odolný proti větru, odolný vůči hydrolýze (např. vodou na střeše), čpavku a dalším agresivním látkám, které se často vyskytují v oblastech využívaných k získávání solární energie[15].

Konstrukce:

- lesklé měděné jádro pocínované
- jádro izolované bezhalogenovým materiálem, nebo XLPE materiálem
- plášť z bezhalogenového materiálu, nebo XLPE materiálu

Pro malé FVE a pro pevné pospojování (bez otočných částí či trackerů) se dají použít i klasické měděné kabely.

Já jsem vybral kabely od firmy Huber&Suhner, která vyrábí speciální solární kabely pro propojení fotovoltaických modulů a vybavení uvnitř i vně budov s vysokými požadavky pro mechanické namáhání a extrémní povětrnostní podmínky.

Popis vlastností:

Huber&Suhner RADOX® 125 Solar – jednožilový

-Vynikající teplotní a mechanické vlastnosti

-Odolný vůči oleji a ozónu

-Bezhalogenový

-Voděodolný

-Samozhášivý

-Průřez: 1,5 – 150 mm²

-Jmenovité napětí: 600/1650 V

-Vodič: IEC 60228 Class 5

-Vnitřní izolace: RADOX® 125

-Vnější izolace: RADOX® 125, (černá, rudá, modrá)

-Cena: 22,60 Kč / 1m.



Obr.2.16 Solární kabel[15]

Proudová hustota pro měď je udávána jako 4A/mm² průřezu vodiče. Při volbě průřezu jsem tedy vycházel z následujících jednoduchých výpočtů:

$$I_{\max A} = 8,15A; I_{\max B} = 6,05A$$

$$J = \frac{I_{\max}}{S} \quad (2.3)$$

kde: J...proudová hustota [A/mm²];

I_{\max} ...maximální elektrický proud obvodem [A];

S...průřez vodiče [mm²];

potom je:

$$S = \frac{I_{\max}}{J} = \frac{8,15}{4} = 2,0375mm^2 \quad (2.4)$$

Z výsledku je patrné, že by stačily kabely o průřezu $2,5\text{mm}^2$. Já jsem se rozhodl kabely lehce naddimenzovat z důvodu doporučení a jistoty. Průřez vodiče jsem tedy zvolil 4mm^2 . Odhadem pro variantu A se použije 25m, pro variantu B se použije 35m. Ceny: varianta A – 564,90 Kč; varianta B – 790,86 Kč

Maximální Jouleovy ztráty v kabelech $P_{j\max}$ se vypočítají z těchto vztahů:

Měrný odpor mědi: $\rho = 0,0169 \cdot 10^{-6} [\Omega \cdot \text{m}]$

$$R_A = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,0169 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{25}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,105625 \Omega \quad (2.5)$$

$$R_B = 0,147875 \Omega$$

$$P_{j\max A} = R \cdot I_{\max}^2 = 0,105625 \cdot 8,15^2 = 7,016 \text{ W} \quad (2.6)$$

$$P_{j\max B} = 5,413 \text{ W}$$

Jouleovy ztráty z celkového výkonu: varianta A – 0,21%; varianta B – 0,13%.

Konektory

Pro kvalitní propojení panelů mezi sebou a panelů s měniči se používají také speciální solární konektory. Vybral jsem konektory od stejné firmy jako kabeláž.

Použito bude: pro variantu A – 26 konektorů; pro variant B – 40 konektorů.

Konektor Radox solar socket 4 mm^2 integrated locking

Cena: A - 926,64 Kč; B - 1 425,60 Kč



Obr.2.17 Konektory Radox[15]

2.4.4.2 Podružný rozvaděč

Zajišťuje ochranu jednotlivých částí systému, možnost jejich odpojení i ochranu sítě.

Rozvaděč většinou obsahuje následující komponenty:

- Jističe a přepětové ochrany na DC straně pro jednotlivá FV pole (tzn. před měniči napětí)
- Jističe a přepětové ochrany na AC straně pro jednotlivá FV pole (tzn. za měniči napětí)
- Elektroměr pro 1, či 3fázové měření vyráběné a dodávané elektrické energie
- Univerzální síťovou ochranu pro ochranu uživatelské - distribuční sítě před nežádoucími

účinky FV zdroje (frekvenční ochrana, přepět'ová a podpět'ová ochrana, hlídání sledu fází, ochrana proti napět'ové nesymetrii)

Zpracoval jsem do návrhu rozvaděč pro jednofázové střídače do výkonu 5kW, který se prodává již vybaven.

Obsahuje:

- cejchovaný elektroměr
- soubor ochran pro elektrárenské distribuční společnosti
- svorky pro připojení střídače - výstupního střídavého napětí
- svorky pro připojení kabelu do rozvodné soustavy



Obr.2.18 Rozvaděč [23]

U každého kusu jsou přibaleny tyto dokumenty:

- schéma zapojení
- protokol o kusové zkoušce
- Potvrzení o ověření stanoveného měřidla (certifikát elektroměru)

Cena: 20000 Kč.

2.4.4.3 Nosná konstrukce

Kvalitní konstrukční prvky zajišťují stabilní a trvanlivé uchycení fotovoltaických panelů na střeše nebo jiné ploše. Většina používaného materiálu na háky, úchyty nebo profily je z nerez oceli, případně hliníku. Na typu střešní krytiny nezáleží, technicky je montáž řešitelná na jakýkoli typ. V obchodech jsou k sehnání montážní sady pro uchycení FV panelů, které obsahují profily, háky a jiné potřebné součásti.

Pro variantu A jsem vybral dvě sady pro 6ks panelů, pro variantu B dvě sady pro 10ks panelů. Cena sad pro variantu A - 21800 Kč, pro variantu B - 35980 Kč



Obr.2.19 Součásti nosné konstrukce [24]

3 Zhodnocení navrženého systému

3.1 Energetické hledisko

Navržené FV systémy jsou namodelovány a nasimulovány v programu PVSYST 5.56, který je v měsíční plné verzi zdarma ke stažení. Při modelování je možné zadat sklon střechy, azimut, konkrétní FV panel a konkrétní měnič, jejichž vlastnosti má program uložené v databázi, dále stínění, rozložení panelů na střechě objektu. Program umí vypočítat vyrobenou energii, ztráty v systému a v neposlední řadě i kalkulaci nákladů.

3.1.1 Varianta A

FV panel použitý ve variantě A (FitCraft FCP280) nebyl nalezen v databázi programu PVSYST 5.56 a proto jsem nasimuloval tento systém s použitím velmi podobného panelu o stejných rozměrech, výkonu a vlastnostech – Yingli Solar YL280P-35B.

Instalovaný nominální výkon: 3,360 kWp

Produkce systému bez ztrát: 4658 kW/rok

Skutečná produkce systému včetně ztrát: 3861kW/rok

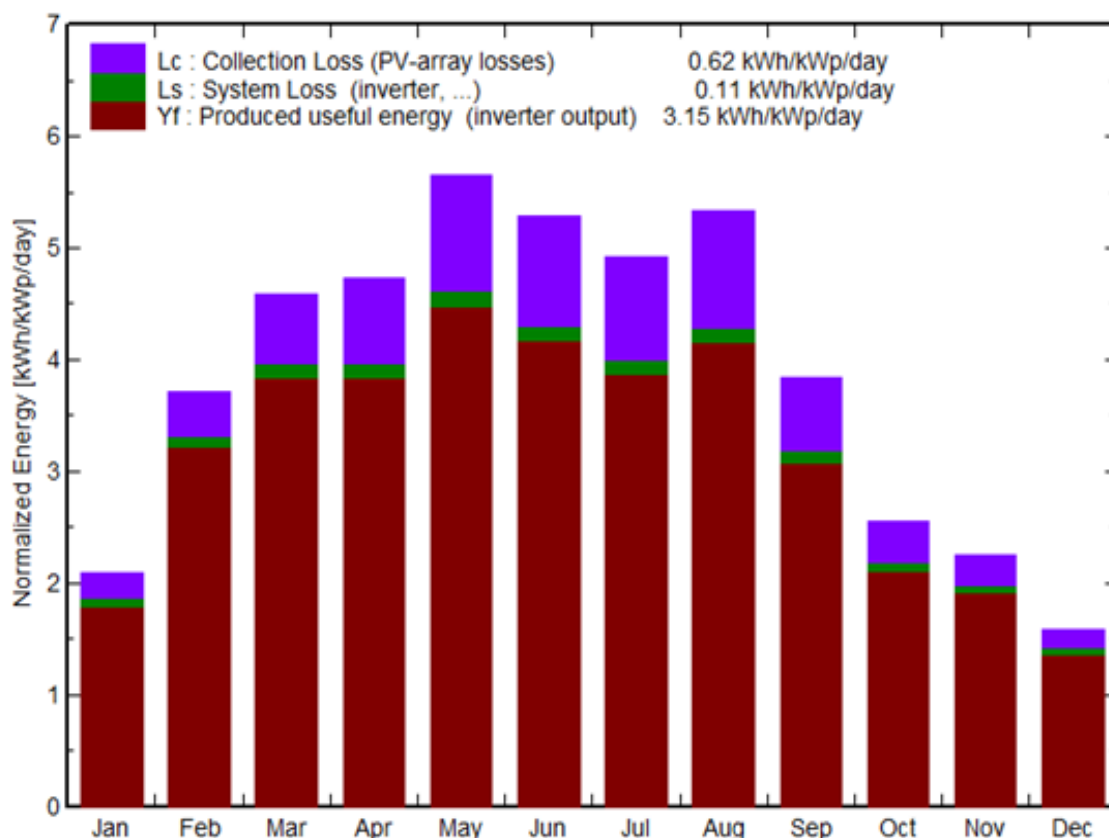
Normalizovaná produkce FV systému:

Produkce systému: 3,15 kW/kWp/den

Ztráty FV pole: 0,62 kWh/kWp/den

Systémové ztráty: 0,11kWh/kWp/den

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3360 Wp



Obr.3.1 Graf normalizované produkce FV systému A

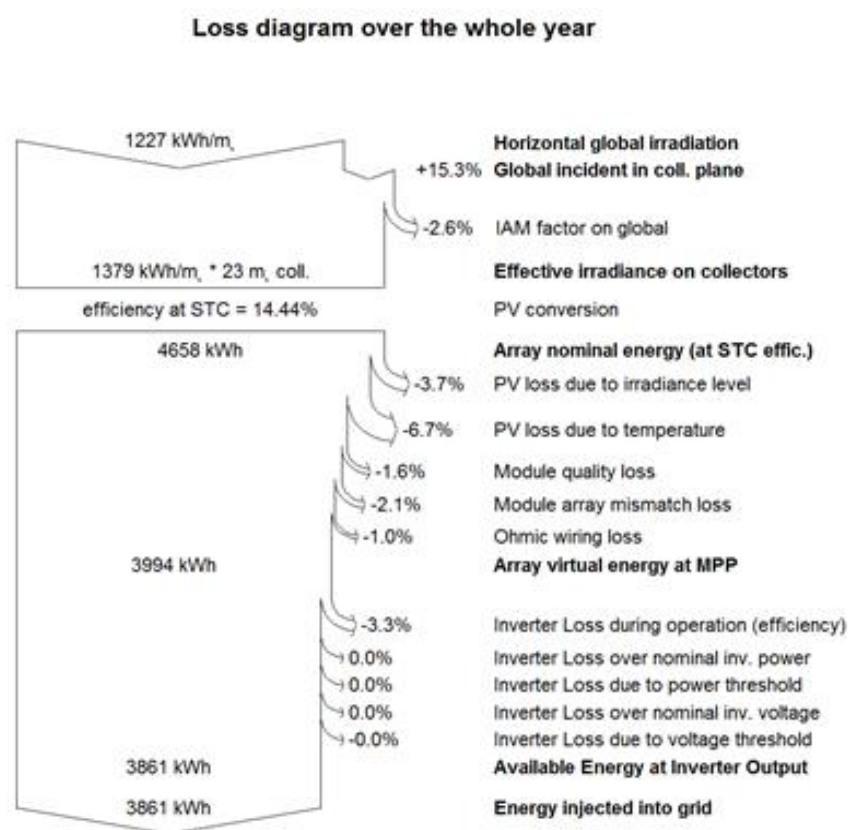
Tab.3.1 Tabulka bilancí a výsledků za jednotlivé měsíce:

Balances and main results

	GlobHor kWh/m _i	T Amb °C	GlobInc kWh/m _i	GlobEff kWh/m _i	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	40.1	2.47	64.7	63.1	194.0	186.3	12.82	12.31
February	65.6	0.03	103.9	101.8	312.5	302.2	12.85	12.42
March	108.8	4.19	142.1	139.0	413.5	400.3	12.44	12.04
April	130.6	10.22	141.7	138.0	399.6	386.6	12.05	11.66
May	176.1	15.39	175.2	170.1	480.4	465.5	11.72	11.35
June	166.7	16.78	158.7	154.0	433.7	420.2	11.68	11.31
July	156.5	16.81	152.4	148.1	416.2	402.7	11.67	11.29
August	154.8	17.84	165.3	161.2	446.5	433.4	11.54	11.20
September	98.4	13.39	115.0	112.1	321.5	310.5	11.95	11.54
October	58.5	8.98	79.3	77.4	228.0	219.3	12.29	11.82
November	42.2	3.06	67.5	66.0	200.1	192.4	12.66	12.17
December	29.2	1.88	49.2	48.0	147.5	141.2	12.80	12.26
Year	1227.4	9.31	1415.1	1378.9	3993.6	3860.7	12.06	11.66

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
 T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
 GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

- kde: GlobHor...dopadající sluneční záření na horizontální plochu;
 T amb...teplota okolí;
 GlobInc...dopadající sluneční záření na plochu panelů;
 GlobEff...efektivní sluneční záření pro IAM a pro obecné zastínění;
 EArray...efektivní energie na výstupu FV pole;
 E_grid...energie vyvedená z FV systému, připojitelná do sítě;
 EffArrR...účinnost FV pole;
 EffSysR...účinnost FV systému.



Obr.3.2 Roční graf ztrát v FV systému

Účinnost přeměny slunečního záření: **14,44%**

Maximální výkon FV pole: 4658 kWh

Ztráty ozářením: 3,7%

Ztráty vlivem teploty: 6,7%

Ztráty v solárních modulech: 1,6%

Ztráty nesouladem kvality modulů: 2,1%

Ztráty ve vedení (kabely): 1%

Energie přivedená z FV systému do měniče: 3994 kWh

Ztráty v měniči: 3,3%

Využitelná energie: 3861 kWh

Detailní výstup (report) z programu je k nahlédnutí v kapitole Přílohy

3.1.2 Varianta B

Instalovaný výkon: 4,14 kWp

Produkce systému beze ztrát: 5699 kWh/rok

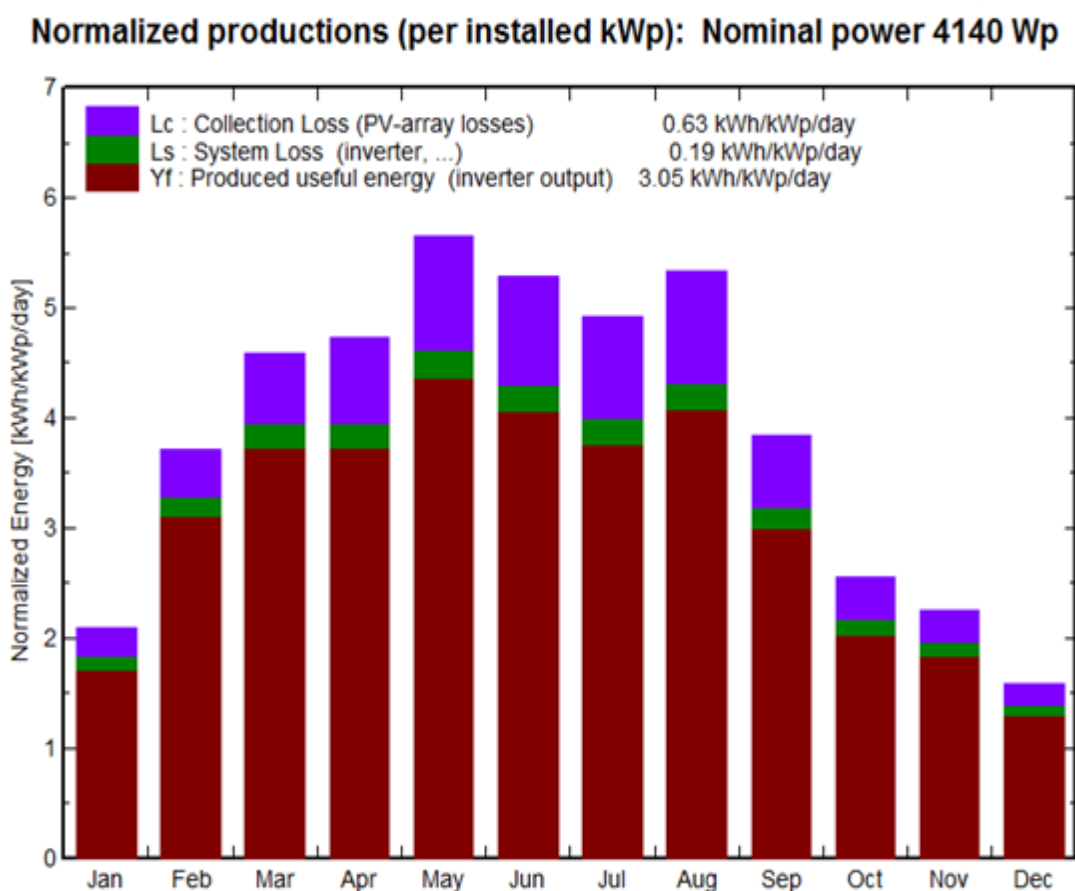
Produkce systému včetně ztrát: 4616 kWh/rok

Normalizovaná produkce FV systému:

Produkce systému: 3,05 kWh/kWp/den

Ztráty FV pole: 0,63 kWh/kWp/den

Systémové ztráty: 0,19 kWh/kWp/den



Obr.3.3 Graf normalizované produkce FV systému

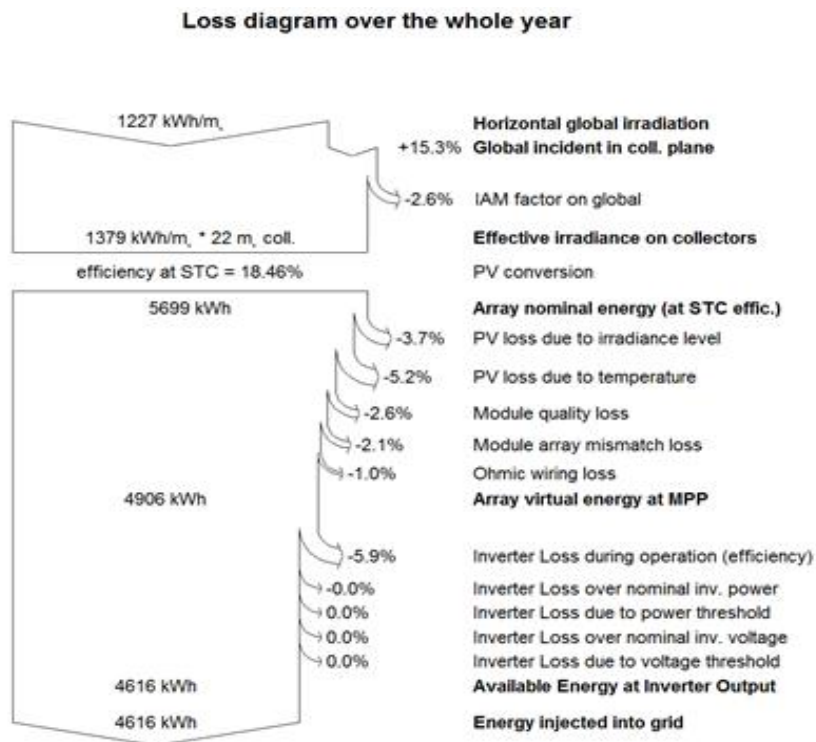
Tab.3.2 Tabulka bilancí a výsledků za jednotlivé měsíce

Balances and main results

	GlobHor kWh/m _s	T Amb °C	GlobInc kWh/m _s	GlobEff kWh/m _s	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	40.1	2.47	64.7	63.1	235.5	219.5	16.27	15.16
February	65.6	0.03	103.9	101.8	380.6	359.5	16.35	15.45
March	108.8	4.19	142.1	139.0	506.9	478.5	15.93	15.04
April	130.6	10.22	141.7	138.0	491.1	463.1	15.47	14.59
May	176.1	15.39	175.2	170.1	593.0	560.1	15.12	14.28
June	166.7	16.78	158.7	154.0	535.0	504.6	15.05	14.20
July	156.5	16.81	152.4	148.1	513.6	483.3	15.05	14.17
August	154.8	17.84	165.3	161.2	553.1	522.6	14.94	14.11
September	98.4	13.39	115.0	112.1	395.3	371.4	15.35	14.42
October	58.5	8.98	79.3	77.4	279.1	260.0	15.72	14.64
November	42.2	3.06	67.5	66.0	243.7	227.5	16.11	15.04
December	29.2	1.88	49.2	48.0	178.9	165.5	16.23	15.01
Year	1227.4	9.31	1415.1	1378.9	4905.7	4615.8	15.48	14.57

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

kde: GlobHor...dopadající sluneční záření na horizontální plochu;
T amb...teplota okolí;
GlobInc... dopadající sluneční záření na plochu panelů;
GlobEff...efektivní sluneční záření pro IAM a pro obecné stínění;
EArray...efektivní energie na výstupu FV pole;
E_grid...energie vyvedená z FV systému, připojitelná do sítě;
EffArrR...účinnost FV pole;
EffSysR...účinnost FV systému



Obr.3.4 Roční graf ztrát v FV systému B

Účinnost přeměny slunečního záření: **18,46%**

Maximální výkon FV pole: 5699 kWh

Ztráty ozářením: 3,7%

Ztráty vlivem teploty: 5,2%

Ztráty v solárních modulech: 2,6%

Ztráty nesouladem kvality modulů: 2,1%

Ztráty ve vedení (kabely): 1%

Energie přivedená z FV systému do měniče: 4906 kWh

Ztráty v měniči: 5,9%

Využitelná energie: 4616 kWh

Detailní výstup (report) z programu je k nahlédnutí v kapitole Přílohy.

3.2 Ekonomické hledisko

Tato kapitola je věnována ekonomickému zhodnocení FV systémů. Jsou zde uvedeny tabulky finančních nákladů jednotlivých variant a propočítány návratnosti obou systémů, kdy navržené FVE jsou uvažovány na propojení s distribuční sítí (ON GRID) a přebytky energie prodávány formou tzv. zelených bonusů distributorovi.

Od roku 1975 do roku 2006 poklesla cena fotovoltaických systémů na 1/20 a roční produkce vzrostla 25 000krát. Na pokles ceny má vliv několik faktorů, nejvýznamnější jsou růst účinnosti článků, pokles ceny křemíku, používání tenkých desek a v neposlední řadě zmiňovaný růst objemu výroby. Energetická návratnost – doba, za kterou systém vyrobí stejné množství energie jako se spotřebovalo na jeho výrobu – se ve stejné době zkrátila na 1/10. Rovněž tato skutečnost má výrazný vliv na cenu.

Tab. 3.3 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [25]

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6160	5080

Místně příslušný provozovatel distribuční soustavy má ze zákona povinnost přednostně připojit výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů. Zároveň má povinnost vykupovat veškerou elektřinu vyrobenou tímto zdrojem za ceny stanovené ERÚ a to po dobu 20 let [25].

Dotace na fotovoltaické elektrárny pro fyzické či právnické osoby nejsou v roce 2012 poskytovány, jak tomu bylo například v roce 2007. V roce 2014 se zastaví veškerá státní podpora pro obnovitelné zdroje, stávajícím obnovitelným zdrojům a těm, které budou uvedeny do provozu do konce roku 2013 podpora zůstává.

3.2.1 Náklady variant A, B

V následujících tabulkách jsou přehledně zobrazeny veškeré náklady (vč.DPH) na zakoupení fotovoltaického systému – varianta A. Do ceny není započítána doprava materiálu, montáž a revizní zkoušky.

Tab.3.4 Finanční náklady varianty A

Finanční náklady varianty A			
	počet ks	Cena za 1ks [kč]	Celková částka [kč]
FV panely FitCraft FCP280	12	7560	90720
OnGrid síťový měnič Fronius IG3.6 TL	1	39150	39150
Huber&Suhner RADOX® 125 Solar	25	22,6	564,9
Konektor Radox solar socket 4 mm2	26	35,6	926,64
Rozvaděč s kompletním vybavením	1	20000	20000
Nosná konstrukce	2	10900	21800
Licence pro výrobu el.energie	1	1000	1000
Licence pro distribuci el.energie	1	1000	1000
Celkové náklady	175161,54 Kč		

Tab.3.5 Finanční náklady varianty B

Finanční náklady varianty B			
	počet ks	Cena za 1ks [kč]	Celková částka [kč]
FV panely SunPower 230WHT	18	17520	315360
OnGrid síťový měnič Fronius IG 4 plus	1	44119	44119
Huber&Suhner RADOX® 125 Solar	35	22,6	791
Konektor Radox solar socket 4 mm2	40	35,6	1425
Rozvaděč s kompletním vybavením	1	20000	20000
Nosná konstrukce	2	17990	35980
Licence pro výrobu el.energie	1	1000	1000
Licence pro distribuci el.energie	1	1000	1000
Celkové náklady	419675 Kč		

Pro představu v obchodech se prodávají fotovoltaické stavebnice:

FVE 3,36 kWp

Dodávka obsahuje:

14 ks FV panel CanadianSolar CS6P-240P, 240 Wp

1 ks měnič SB 3000

1 ks rozvaděč AC/DC (zapojeno pro zelený bonus)

30 m DC kabely + konektory MC4

1 ks projektová dokumentace elektrické části

Nosný systém Schletter (2 řady na výšku); kotvicí body pro krytinu

Není součástí nabídky:

montáž FV elektrárny

revize el.zařízení

kolek pro udělení licence

Cena: 163 378,- Kč vč.DPH

3.2.2 Platby, návratnost

Mým distributorem elektrické energie je SKUPINA ČEZ, distribuční sazba D 26d, produkt D akumulace 8 Comfort, který je rozdělen na vysoký tarif (VT) a nízký tarif (NT).
 Cena za 1kWh v sazbě VT tarifu D 26d, produkt D akumulace 8 Comfort je 1,805 Kč.
 Cena za 1kWh v sazbě NT tarifu D 26d, produkt D akumulace 8 Comfort je 0,991 Kč.
 Pro zjednodušení budu počítat jen s využitím FVE ve VT sazbě (ve dne), protože přesné hodiny spínání se mi podle čísla elektroměru nepodařilo dohledat a budu uvažovat, že FV systém v noci žádnou elektřinu vyrábět nebude. Tedy NT sazba se bude platit vždy stejná.

Regulované platby za dopravu elektřiny:

Regulované platby se skládají z: měsíční platby za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe před elektroměrem, z ceny za systémové služby, z ceny za podporu výkupu el.energie z OZE a z ceny za distribuci elektrické energie.

Období: 22.03.2011 – 31.08.2011 = 7057,42 Kč
 1.9.2011 – 31.12.2011 = 6112,55 Kč
 1.1.2012 – 20.03.2012 = 4502,73 Kč
 Průměr za období: 5890,9 Kč
 Průměr za měsíc: 1472,725 Kč
Celková částka za rok: 17672,7 Kč

Platby za silovou elektřinu:

Období:	22.03.2011 – 31.08.2011	VT: 0,61680 MWh....1113,32kč
		NT: 6,8257 MWh....6764,27 Kč
	1.9.2011 – 31.12.2011	VT: 0,50260 MWh.... 907,1 Kč
		NT: 6,48320 MWh.... 6424,8 Kč
	1.1.2012 – 20.03.2012	VT: 0,33160MWh....640,32 Kč
		NT: 4,75310MWh....5223,66 Kč

Roční spotřeba energie(silová část): VT: 1,451 MWhcena: 2660,74 Kč
 NT: 18,062 MWhcena: 18412,73 Kč

Ceny bez DPH.

3.2.2.1 Varianta A

Celková částka (regulované platby): 21207,24 Kč vč.DPH

FV systém varianty A je schopen vyrobit: $P_A = 3861 \text{ kW}$ / za rok

Požizovací cena varianty A (C_p): 175161,54 Kč vč.DPH

Zelený bonus za 1 kWh – 6,096 Kč vč.DPH

Roční spotřeba (silová část):

VT: 1,451 MWhcena: 3142,866 Kč vč.DPH

NT: 18,062 MWhcena: 22095,276 Kč vč.DPH

Přebytková energie z FVE, která se bude prodávat formou zelených bonusů:

$$P_z = P_A - VT = 3861 \text{ kWh} - 1451 \text{ kWh} = 2410 \text{ kWh} \quad (3.1)$$

Zisk ze zelených bonusů:

$$Zisk = P_z \cdot 6,096 = 14691,36 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.2)$$

Zisk za distribuci VT sazby: 1759,476 Kč vč.DPH

Celkový zisk:

$$Z_{celk} = Zisk + Zisk_{distrib} = 14691,36 + 1759,476 = 16450,84 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.3)$$

Platby za rok:

$$C_{pov} = C_{NT} + C_{reg} = 22095,276 + 21207,24 = 43302,516 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.4)$$

Platby včetně zisku:

$$C_{celk} = C_{pov} - Z_{celk} = 43302,516 - 16450,84 = 26851,676 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.5)$$

Návratnost:

$$N = \frac{C_p}{Z_{celk}} = \frac{175161,54}{16450,84} = 10,64 \text{ let} \quad (3.6)$$

Na povinný výkup se uzavírá smlouva na 20 let.

Potom zisk bude:

$$Z = (20 - 10,64) \cdot 16450,84 = 153979,87 \text{ Kč} \quad (3.7)$$

3.2.2.2 Varianta B

Celková částka (regulované platby): 21207,24 Kč vč.DPH

FV systém varianty B je schopen vyrobit: $P_B = 4616$ kWh/rok

Pořizovací cena varianty B (C_p): 419675 Kč vč.DPH

Zelený bonus za 1 kWh – 6,096 Kč vč.DPH

Roční spotřeba (silová část):

VT: 1,451 MWhcena: 3142,866 Kč vč.DPH

NT: 18,062 MWhcena: 22095,276 Kč vč.DPH

Přebytková energie z FVE, která se bude prodávat formou zelených bonusů:

$$P_z = P_A - VT = 4616 \text{ kWh} - 1451 \text{ kWh} = 3165 \text{ kWh} \quad (3.8)$$

Zisk ze zelených bonusů:

$$Zisk = P_z \cdot 6,096 = 19293,84 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.9)$$

Zisk za distribuci VT sazby: 1759,476 Kč vč.DPH

Celkový zisk:

$$Z_{celk} = Zisk + Zisk_{distrib} = 19293,84 + 1759,476 = 21053,016 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.10)$$

Platby za rok:

$$C_{pov} = C_{NT} + C_{reg} = 22095,276 + 21207,24 = 43302,516 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.11)$$

Platby včetně zisku za rok:

$$C_{celk} = C_{pov} - Z_{celk} = 43302,516 - 21053,016 = 22249,5 \text{ Kč vč.DPH} \quad (3.12)$$

Návratnost:

$$N = \frac{C_p}{Z_{celk}} = \frac{419675}{21053,016} = 19,93 \text{ let} \quad (3.13)$$

Na povinný výkup se uzavírá smlouva na 20 let.

Potom zisk bude:

$$Z = (20 - 19,93) \cdot 21053,016 = 1473,7 \text{ Kč} \quad (3.14)$$

3.3 Environmentální hledisko

Přeměna sluneční energie v elektrickou je ekologicky čistá, protože fotovoltaická elektrárna neprodukuje žádný toxický odpad, plyn, popílek ani hluk. Získávání elektrické energie ze slunečního záření je z hlediska životního prostředí nejčistším a nejšetrnějším způsobem její výroby. Dosažení 20% podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie by snížilo dovoz fosilních paliv jako je ropa nebo plyn o 200 milionů tun ročně.

Environmentální dopady fotovoltaiky je možno rozdělit podle jejich vzniku rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé dopady jsou svázány přímo s konkrétním výrobním procesem. Jsou mezi ně počítány např. zábor půdy, emise z těžby surovin, spotřeba vody ve výrobě, emise chemických látek atd. Nepřímé dopady se pojí především s emisemi z výroby spotřebované elektřiny a z dopravy. Z hlediska trvalé udržitelnosti je významná rovněž rychlost čerpání surovinových zdrojů pro vyhodnocení jejich dostupnosti v budoucnosti.

3.3.1 Životnost

Životnost fotovoltaického panelu je definována poklesem výkonu o 20 %. Téměř všichni výrobci běžně dostupných krystalických a tenkovrstvých panelů garantují maximální pokles účinnosti o 10 % za 10 nebo 12 let a 20 % za 25 let. V praxi se na nejstarších instalacích pokles účinnosti po 25 letech pohybuje kolem 6 až 8 %. Skutečná životnost proto bude výrazně delší [26].

3.3.2 Emise

V České republice bylo v roce 2010 do vzduchu vypuštěno 75,6 milionů tun emisí. I přesto se Česká republika vešla do limitu, který je pro roky 2008–2012 stanoven na 86,8 milionů tun emisí. Pro srovnání, v roce 2008 u nás bylo do ovzduší vypuštěno na 80,4 milionů tun a v roce 2009 cca 73,8 milionů tun emisí. 1kW instalovaného výkonu fotovoltaického systému ročně vyprodukuje přibližně 1000kWh elektrické energie a ušetří ročně přibližně 850kg emisí CO₂.

Potom tedy navržená FVE – A ušetří:

$$N_{co_2} = (3861/1000) \cdot 850 = 3281,85kg \quad (3.15)$$

Navržená FVE – B ušetří:

$$N_{co_2} = (4616/1000) \cdot 850 = 3923,6kg \quad (3.16)$$

Fotovoltaické elektrárny při vlastním provozu, tedy při výrobě elektřiny, neprodukují žádné emise ani jiné zplodiny. Je však nutné je nějak vyrobit, nainstalovat a po skončení životnosti je opět demontovat a materiály zpracovat.

3.3.3 Enviromentální pohled na výrobu a recyklaci FV panelu

Z hlediska spotřeby energie jsou některé fáze výroby panelů náročnější:

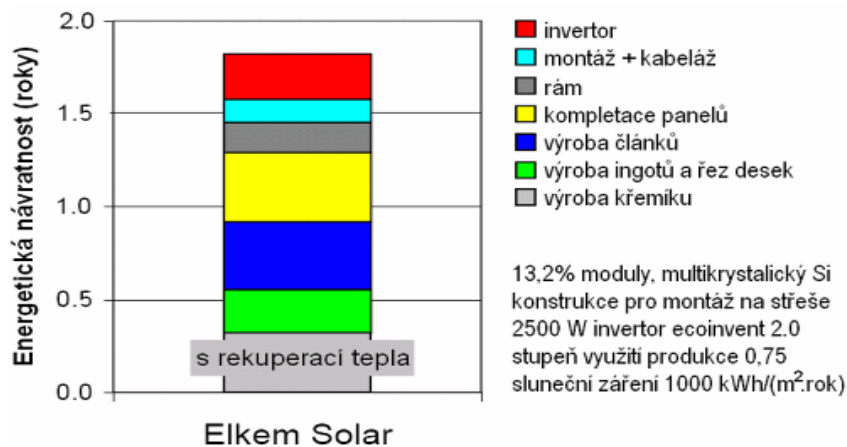
- výroba
- rafinace
- výroba ingotů a desek
- výroba článků
- kompletace panelů.

Z hlediska celého životního cyklu panelu je významná také recyklace na konci životnosti.

Ostatní položky jsou méně významné:

- těžba a zpracování surovin
- montáž systému
- spotřeba energie v provozu
- demontáž systému
- doprava

Podíl jednotlivých položek závisí kromě použité metody výroby solárního křemíku a ingotů i na konkrétním výrobcí. Výroba monokrystalických článků je ve srovnání s multikrystalickými energeticky náročnější. Novější provozy však mají v obou případech spotřebu až několikanásobně nižší [27].



Obr.3.5 Energetická návratnost výroby FV panelu [27]

Výroba solárního křemíku

Dokud byl pro výrobu fotovoltaických článků používán odpadní křemík z výroby mikroelektronických součástek, byla energetická náročnost výroby považována za vedlejší. S růstem výrobních kapacit fotovoltaických článků začala nutnost budovat nové kapacity speciálně na výrobu solárního křemíku. Původní tzv. Siemens proces byl upraven s cílem snížit spotřebu energie, ale i tak byl podíl výroby křemíku na celkové spotřebě energie byl stále vysoký. Novější proces využívající tzv. Fluidized Bed Reaktor (FBR) namísto původního reaktoru Siemens vykazuje nižší spotřebu elektrické energie, spotřeba tepla je zhruba stejná.

Ostatní fáze výroby panelů

Spotřeba energie při výrobě ingotu souvisí s tepelnými ztrátami zařízení. U větších ingotů jsou měrné ztráty na jednotku produkce menší. Další pokles spotřeby lze očekávat v souvislosti s rekuperací tepla. Řezání ingotů a desek se blíží technologickým limitům, nelze již dále zmenšovat šířku řezu a proto ani spotřebu energie. Snížit spotřebu energie až o dvě třetiny a zároveň finanční náklady je možno recyklací řezné emulze. Podíl spotřeby energie zbývajících fází výroby fotovoltaických panelů byl donedávna málo významný. V současnosti nad snahou o snižování spotřeby energie převažuje snaha o zvyšování účinnosti, která má významnější vliv na energetickou návratnost. V důsledku spotřeba energie ve výrobě článků a při kompletaci panelů mírně narůstá [27].

Doplňkové komponenty fotovoltaických systémů

Snižování energetické náročnosti výroby ostatních součástí fotovoltaické elektrárny - invertoru, kabeláže, nosné konstrukce - je věnována zvýšená pozornost teprve v posledních letech, dříve byl jejich podíl na celkové spotřebě energie málo významný.

Zkracování doby energetické návratnosti

- snižování spotřeby energie ve výrobě solárního křemíku
- snižování spotřeby křemíku
- zvyšování účinnosti článků
- recyklace na konci životnosti

Zvyšování energetické výnosnosti

-zkracování energetické návratnosti

-prodlužování životnosti

Recyklovatelné materiály

Největší podíl na hmotnosti panelů připadá na sklo (63 %) a hliníkový rám (22 %). Oba tyto materiály jsou běžně recyklovány. Ostatní materiály lze recyklovat jen částečně.

- Hliník – primární produkce je energeticky náročná – 200 MJ/kg elektřiny a představuje asi 8 % spotřeby energie na výrobu panelu. V současnosti jsou proto vyráběny i panely bez rámu. Tato praxe však není nutná, hliník lze snadno recyklovat s velmi nízkou spotřebou – 8 MJ/kg převážně tepelné energie, výtěžnost se u kusového hliníku blíží 100 %.
- Sklo nebo jiný transparentní materiál je základní konstrukční díl, který nelze vynechat. Recyklace skla může snížit spotřebu energie na jeho výrobu asi o 40 %. Významnější je však snížení nároků na těžební a skládkové kapacity. Ve většině případů lze recyklované sklo použít na výrobu stejného produktu.
- Plastové komponenty, vzhledem k jejich degradaci působením klimatických podmínek, je obtížné recyklovat. Možné je pouze využití tepelné energie při spalování.
- Fotovoltaické články mají zanedbatelný podíl na hmotnosti panelů. Podílí se však 50 % na ceně panelu a 80 % na spotřebě energie na jeho výrobu. Na konci životnosti jsou přitom články v podstatě nezměněny.
- Těžké kovy představují z hlediska hmotnosti, ceny i spotřeby energie na výrobu panelů zanedbatelné položky. Podíl olova na hmotnosti panelů je pouze 0,12 %, stříbra 0,14 %, cínu 0,12 % a mědi 0,37 %. Energetická i materiálová náročnost recyklace je srovnatelná s výrobou z primárních surovin. Recyklace je však nutná z jiných důvodů. Těžké kovy jsou toxické a je proto nutno je oddělit od životního prostředí. Mimoto zejména u stříbra lze očekávat v blízké budoucnosti vyčerpání ekonomicky těžitelných zásob a v důsledku toho růst nákladů na těžbu [27].

Termická recyklace

Nejpokročilejší metodou recyklace FV panelů je termický proces navržený Deutsche solar AG. Metoda je použitelná pro všechny stávající konstrukce a typy panelů. Celé panely jsou zavezeny do speciální pece, kde jsou zahřívány na teplotu nad 500°C. Při této teplotě se

plastové materiály odpaří, následně jsou v další komoře řízeně spalovány. Ostatní materiály jsou separovány ručně. Jestliže jsou panely nepoškozené, lze vytěžit až 85% článků pro nové použití. Spotřebu energie na výrobu nových panelů je díky tomu možno snížit až o 70%. [27].

Mechanicko-chemická metoda

Pro likvidaci panelů je navrhován podobný postup jako při recyklaci LCD televizorů. Na začátku se ručně demontuje hliníkový rám. Následuje drcení a třídění velikostních frakcí. K oddělení jednotlivých materiálů slouží separační metody - fluidní a mokré splavy a elektrodynamická separace. Stříbro a další zájmové kovy jsou získávány chemicky a pyrometalurgicky. Získané kovy mohou být použity jako surovina v metalurgickém průmyslu, plasty budou pravděpodobně likvidovány spálením s možností využít teplo. Ve srovnání s termickou recyklací je u této metody nižší podíl ruční práce. Výsledkem jsou však pouze drcené suroviny. Metoda je použitelná spíše pro tenkovrstvé panely, u nichž nelze polovodičové materiály získat jiným způsobem[27].

Konstrukční úpravy

Pro zjednodušení recyklace na konci životnosti byly navrženy konstrukční úpravy, které mají usnadnit demontáž celých článků z panelu. Jednou z možností je jednotlivé články před laminací do EVA fólie nejdříve zapouzdřit do materiálu s nízkou přilnavostí k článkům, např. do silikonu. Další možností je hermetické uzavření FV článků mezi dvě vrstvy skla bez použití EVA fólie nebo jiných plastů.

Množství panelů k recyklaci

V nejbližších 10 až 20 letech můžeme očekávat, že množství panelů dosluhujících a vyřazených z provozu bude velmi malé. Bude se většinou jednat o panely poškozené při nehodách nebo živelních pohromách. Odhady se pohybují od několika set do 1000 tun ročně. Ve srovnání s celkovou produkcí odpadů v České republice (cca 20 mil. tun) se jedná pouze o zlomek. Kvalitní panely instalované v letech 2009 - 2011 budou vyřazeny z provozu ve větších množstvích pravděpodobně až po roce 2040.

4 Závěr

Instalované výkony uvažované v návrzích fotovoltaických systémů tj. 3,36kW a 4,14kW, jsou nedostačující pro pokrytí veškeré spotřeby objektu, ale pokrývají spotřebu ve vysokém tarifu přiváděné elektřiny. Při návrzích jsem postupoval podle pravidel projektování, respektoval jsem technické specifikace součástí a bral v potaz aspekty přírodních podmínek a dané lokality.

Porovnáním těchto navržených fotovoltaických systémů, jsem vlastně srovnával fotovoltaickou elektrárnu s velmi levnými FV panely a fotovoltaickou elektrárnu se značně drahými, ale kvalitními panely. Po propočítání jejich ekonomických hledisek a návratností jsem došel k několika závěrům.

Co se týká varianty A, jejíž cena je velmi podobná fotovoltaickým stavebnicím, (jsou k dostání v obchodech), tak se dá říci, že během 20 let (doba na kterou se uzavírá smlouva o povinném výkupu) se nám nejen FVE zaplatí, ale její ziskovost bude taková, že bychom si mohli dovolit zakoupit elektrárnu novou.

Jiná situace je u varianty B. Zde jsou celkové náklady velmi vysoké a elektrárna by se za 20 let prakticky jenom zaplatila, tudíž ekonomická bilance je nulová. Nicméně FV panely Sunpower považuji za velmi kvalitní, především pro jejich vysokou účinnost a stálost parametrů, ale doporučil bych je na větší instalace, než jsou instalace na rodinných domech, kde jistě budou velmi ziskové.

Na některých komponentách FVE by se daly ušetřit finanční zdroje a to zejména na nosné konstrukci, kterou si šikovný budoucí vlastník fotovoltaické elektrárny může vyrobit sám a také na kabelech, které při malých instalovaných výkonech a nepohyblivých zapojeních nemusí být nijak speciální, neboť ztráty v nich jsou tak malé, že je můžeme zanedbat.

Použitá literatura

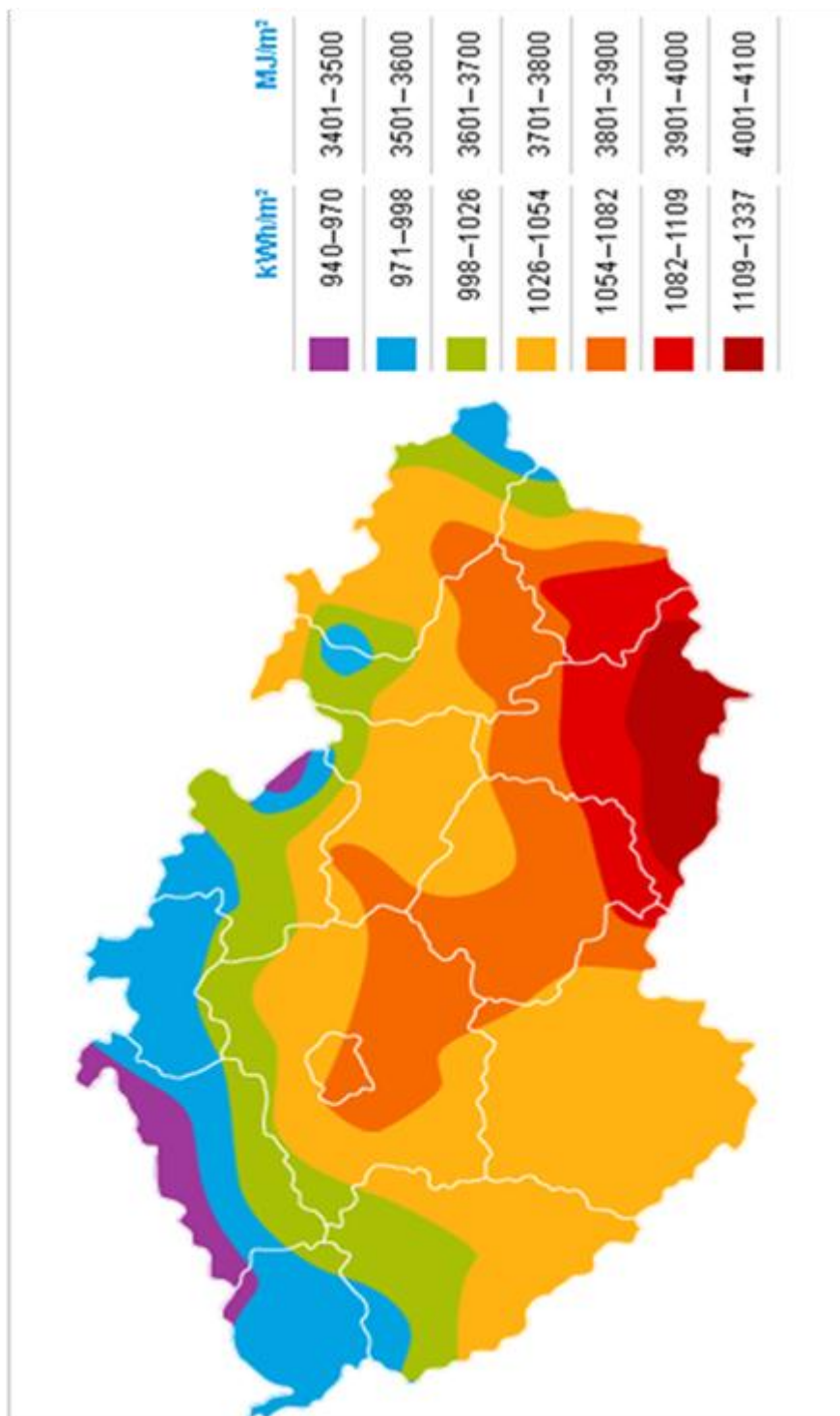
- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [2] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi: technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. české vyd. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 2000, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
- [3] KLECZEK, Josip. *Sluneční energie-úvod do helioenergetiky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 192 s.
- [4] KARAMANOLIS, Stratis. *Sluneční energie. Východisko z ekologicko-energetické krize*. Praha: Sdružení MAC, 1996, 238 s. ISBN 80-860-1502-5.
- [5] What I Learned in Chemistry » electromagnetic-spectrum. [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://effieboo.wordpress.com/2010/09/22/what-i-learned-in-chemistry/electromagnetic-spectrum/>
- [6] Firma Micronix. *Zakladni-informace: solarni-panely* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/solarni-panely>
- [7] Wikipedie-otevřená encyklopedie. *Sluneční energie* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie
- [8] Firma Solartec. *Nejekologičtější zdroj nevyčerpatelné energie* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/nejekologictejsi-zdroj-energie.html>
- [9] Solární kolektory. *Topení ze Slunce: Pasivní využití sluneční energie* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z : <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [10] <http://nazelno.cz>. *Aktivní domy: Neplaťte za teplo a elektřinu!* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.nazelno.cz/stavba/pasivni-domy/aktivni-domy-neplatte-za-teplo-a-elektřinu.aspx>

- [11] ŠKORPÍK, Jiří. Transformační technologie. *Sluneční záření jako zdroj energie* [online]. ISSN 1804-8293. 2006, poslední aktualizace květen 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [12] Firma EUROSISTEMS. *Elektřina ze Slunce - to je fotovoltaika* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.eurosystems.cz/fotovoltaika>
- [12] Firma SOLÁRNÍ BATERIE.CZ. *Akumulátory pro solární fotovoltaické systémy* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.solarnibaterie.cz/>
- [13] RITTICH, Zdeněk. SOLAR SOLUTION: Fotovoltaika v roce 2011 - hybridní FV systémy. [online]. 24.04.2011 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.agroservicer.cz/post/fotovoltaika-v-roce-2011-hybridni-fv-systemy-32/>
- [14] <http://zlutaenergie.cz>. *Životnost FVE* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.zlutaenergie.cz/zivotnost-fve>
- [15] Firma PZK s.r.o. *Solární kabely* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.pzk.cz/kat-cze-332-solarni-kabely.html>
- [16] Firma Fronius Česká republika. *Zasíťované střídače* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7C61906C-AC608B9E/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_5050.htm
- [17] Firma SHARP. *Technology / Principle: Grid-connected: a worthwhile investment* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.sharp.eu/cps/rde/xchg/eu/hs.xsl/-/html/technikprinzip.htm>
- [18] <http://solarni-system.cz>: Fotovoltaika. *Zjednodušené schéma zapojení fotovoltaické elektrárny v rodinném domě* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.cz/fotovoltaika/zjednodusene-schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny-v-rodinnem-dome>
- [19] Firma Fitcraft production a.s. *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.fitcraftproduction.cz/?clanek=6>

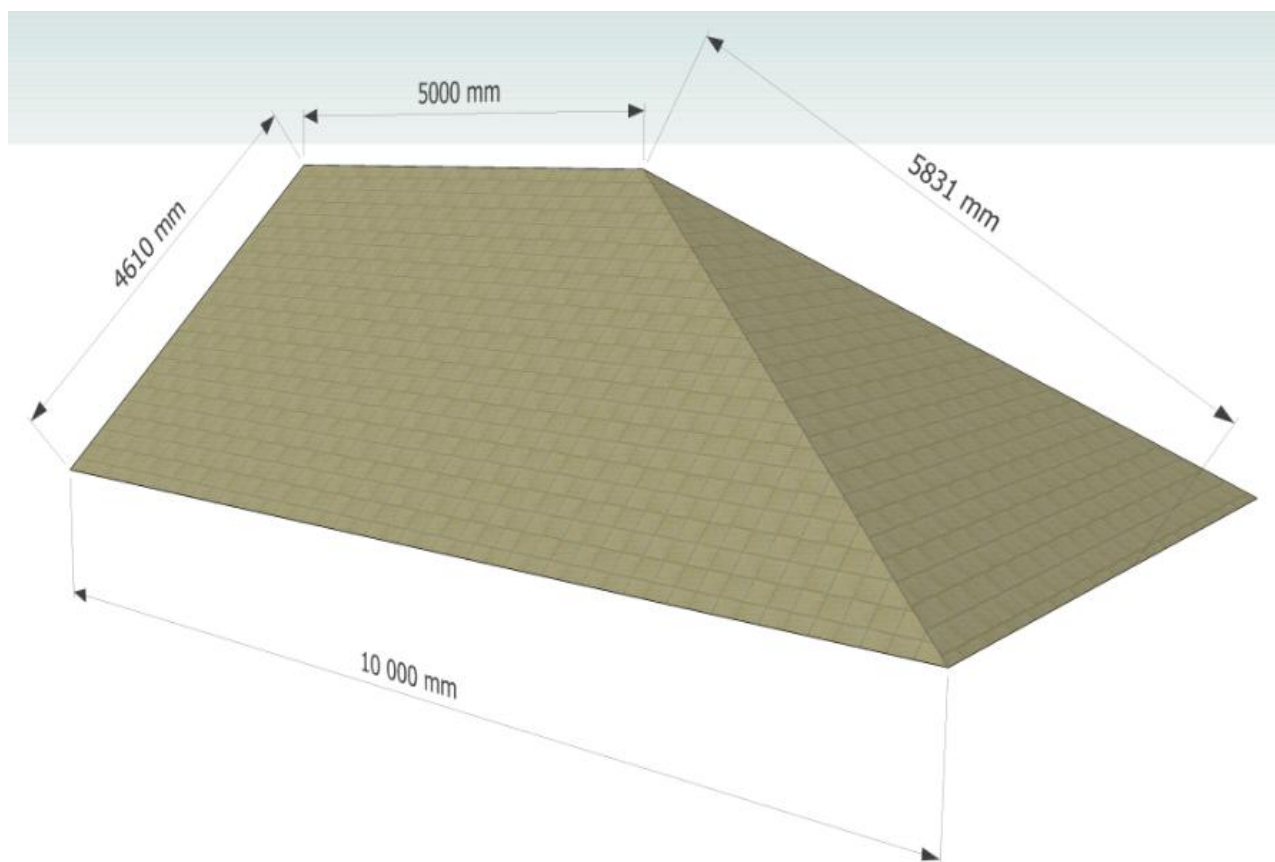
- [20] SUNPOWER CORPORATION. *SunPower® Residential Solar Panels* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://us.sunpowercorp.com/>
- [21] <http://nemakej.cz>. *Opava* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicka-elektrarna-Opava-r38>
- [22] <http://zlutaenergie.cz>. *Reference LIVELA a.s.* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.zlutaenergie.cz/reference_livela
- [23] <http://nemakej.cz>. *Rozvaděč pro fotovoltaiku RDI* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/Rozvadec-pro-fotovoltaiku-RD1--n21830>
- [24] <http://nemakej.cz>. *Konstrukce Solarwatt* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/Konstrukce-pro-2x11-ks-Solarwatt-n21866>
- [25] Energetický regulační úřad. *Elektrina: Cenová rozhodnutí* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=113
- [26] <http://oze.tzb-info.cz>: Obnovitelná energie a úspory energie. *Fotovoltaika: Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: www.oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti
- [27] <http://Oze.tzb-info.cz>: Obnovitelná energie a úspory energie. *Fotovoltaika: Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: www.oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti

Přílohy

Mapa intenzity slunečního záření



Model střechy



FV panel Fitcraft FCP280

Fotovoltaický panel FCP280 patří k nové generaci panelů vyráběných na základě monokrystalických a multikrystalických křemíkových článků s účinností až 16,6%. Maximální výkon jednotlivých panelů zaručuje třístupňová kontrola výroby, kde prvním krokem je pečlivý výběr článků se stejnou účinností. Následně je prováděno měření jednotlivých řad solárních článků (flash tester) a závěrečné měření kompletního panelu v testovacím zařízení Sun Simulator DO 01. (Simulátor panelů testuje zábleskem $1000\text{W}/\text{m}^2$ ve spektru AM 1,5 na ploše měřeného panelu). Použitím nejkvalitnějších základních komponentů od renomovaných výrobců je zaručena vysoká odolnost, kvalita a dlouhá životnost konečného výrobku. Tento výrobek je určen pro malé i velké aplikace pro systémové napětí do 1000V.



Technická specifikace		
Hmotnost	kg	22
Rozměry	(mm)	1945x985x45
Způsob balení	Modulů	25 na paletu
Počet článků	ks	72
Max. výkon	W	280W
Napětí modulu	V	38,5
Max. napětí systému	V	1000



Příklady využití

Fotovoltaické elektrárny
Velkoplošné systémy
Systémy pro rodinné domy

Elektrické vlastnosti	Značka	Jednotka	Hodnota
Maximální výkon	P _{max}	Wp	280
Tolerance	P _{tol}	%	+/-5
Napětí maximálního výkonu	V _{mpp}	V	38,5
Proud maximálního výkonu	I _{mpp}	A	7,28
Napětí naprázdno	V _{oc}	V	45,4
Proud nakrátko	I _{sc}	A	8,15
Maximální napětí systému	V _{max}	V	1000
Teplotní koeficient	$\alpha=+4,37\text{mA}/\text{K}; \beta=-139\text{mV}/\text{K}; \gamma\text{P}/\text{P}=-0,84\text{W}/\text{K}$		
Podmínky měření : Spektrum Am1.5 – 1000W/qm, T=25°			

Fronius

/ Nabíjecí systémy akumulátorů / Svařovací technika / Solární elektronika



BEZTRANSFORMÁTOROVÉ STŘÍDAČE FRONIUS IG TL

/ První ve své třídě se sériovou kontrolou systému.



/ Module Manager



/ Koncepte výměny výkonových desek



/ Systém montáže



/ Koncepte odvětrávání



/ Fronius IG TL spojuje všechny výhody koncepce beztransformátorového střídače spolu s vysokými nároky společnosti Fronius na inovaci a kvalitu. Díky výkonostním třídám od 3 kW do 5 kW je zařízení Fronius IG TL vhodné pro fotovoltaické systémy různých velikostí, od rodinných domů až po zemědělské či komerční budovy. Díky sériové kontrole systému je nejperspektivnějším a nejspolehlivějším beztransformátorovým střídačem.

TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG TL

VSTUPNÍ ÚDAJE	IG TL 3.0	IG TL 3.6	IG TL 4.0	IG TL 4.6	IG TL 5.0
Maximální výkon DC při $\cos \varphi = 1$	3 130 W	3 840 W	4 190 W	4 820 W	5 250 W
Max. vstupní proud ($I_{dc\ max}$)	8,8 A	10,8 A	11,8 A	13,5 A	14,7 A
Min. vstupní napětí ($U_{dc\ min}$)			350 V		
Startovací napětí dodávky ($U_{dc\ start}$)			350 V		
Jmenovité vstupní napětí ($U_{dc\ r}$)			350 V		
Max. vstupní napětí ($U_{dc\ max}$)			850 V		
Rozsah napětí MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)			350 - 700 V		
Počet vstupů DC			6		

VÝSTUPNÍ ÚDAJE	IG TL 3.0	IG TL 3.6	IG TL 4.0	IG TL 4.6	IG TL 5.0
Jmenovitý výkon AC ($P_{ac,r}$)	3 000 W	3 680 W	4 000 W	4 600 W	4 600 W ¹⁾ / 5 000 W
Maximální výstupní výkon	3 000 W	3 680 W	4 000 W	4 600 W	5 000 W
Max. výstupní proud ($I_{ac\ max}$)	13,0 A	16,0 A	17,4 A	20,0 A	21,7 A
Síťové připojení ($U_{ac,r}$)					1-NPE 230 V
Min. výstupní napětí ($U_{ac\ min}$)			180 V		
Max. výstupní napětí ($U_{ac\ max}$)			270 V		
Frekvence (f_r)			50 Hz / 60 Hz		
Frekvenční rozsah ($f_{min} - f_{max}$)			46 - 65 Hz		
Činitel zkreslení (50 Hz / 60 Hz)			< 3% / < 3,5%		
Účinnost ($\cos \varphi_{ac,r}$)			1		

¹⁾ V Německu, Rakousku, Belgii a České republice jsou přístroje Fronius IG TL 5.0 dodávány s jmenovitým výkonem AC 4 600 W.

VŠEOBECNÉ ÚDAJE	IG TL 3.0	IG TL 3.6	IG TL 4.0	IG TL 4.6	IG TL 5.0
Rozměry (výška x šířka x hloubka)			597 x 413 x 195 mm		
Hmotnost			19,1 kg		
Krytí			IP 55 ²⁾		
Třída ochrany			1		
Kategorie přepětí (DC/AC)			2 / 3		
Spotřeba v noci			< 1 W		
Koncepte střídače			beztransformátorový		
Chlazení			řízené chlazení vzduchem		
Montáž			vnitřní a venkovní instalace		
Rozsah okolní teploty			-20 - +55 °C		
Přípustná vlhkost vzduchu			0 - 95 %		
Technologie připojení DC			připojení pomocí šroubových svorek, 2,5 - 16 mm ²		
Technologie připojení AC			připojení pomocí šroubových svorek, 2,5 - 16 mm ²		
Certifikace a normy			DIN V VDE V 0126-1-1, OVE / ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, G83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, Guida per le connessioni alla rete elettrica di ENEL Distribuzione, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3		

²⁾ Dodržujte pokyny pro správnou instalaci střídače, které jsou uvedeny v návodu k obsluze.

/ Nabíjecí systémy akumulátorů / Svařovací technika / Solární elektronika



TRANSFORMÁTOROVÉ STŘÍDAČE FRONIUS IG PLUS

/ Univerzální přístroje s maximální jistotou výnosu.



/ Koncepte MIX™



/ Přepínání vysokofrekvenčního transformátoru



/ Modul Manager



/ Koncepte výměny výkonových desek



/ Systém montáže



/ Koncepte odvětrávání



/ Nová generace střídačů Fronius IG Plus představuje další stupeň vývoje osvědčené řady Fronius IG. Výkonové třídy od 2,6 do 12 kW slibují použitelnost pro všechny myslitelné velikosti fotovoltaických elektráren. S účinností 95,9 % dosahují přístroje řady Fronius IG Plus nejvyšších hodnot u transformátorových střídačů.

TECHNICKÉ ÚDAJE FRONIUS IG PLUS (25 V-1, 30 V-1, 35 V-1, 50 V-1)

VSTUPNÍ ÚDAJE	25 V-1 ¹⁾	30 V-1	35 V-1	50 V-1
Maximální výkon DC při $\cos \varphi = 1$	2 740 W	3 170 W	3 710 W	4 260 W
Max. vstupní proud ($I_{dc\ max}$)	11,9 A	13,8 A	16,1 A	18,5 A
Min. vstupní napětí ($U_{dc\ min}$)			230 V	
Startovací napětí dodávky ($U_{dc\ start}$)			260 V	
Jmenovité vstupní napětí ($U_{dc\ r}$)			370 V	
Max. vstupní napětí ($U_{dc\ max}$)			600 V	
Rozsah napětí MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)			230 - 500 V	
Počet vstupů DC			6	
VÝSTUPNÍ ÚDAJE	25 V-1 ¹⁾	30 V-1	35 V-1	50 V-1
Jmenovitý výkon AC ($P_{ac,r}$)	2 600 W	3 000 W	3 500 W	4 000 W
Maximální výstupní výkon	2 600 VA	3 000 VA	3 500 VA	4 000 VA
Max. výstupní proud ($I_{ac\ max}$)	11,3 A	13,0 A	15,2 A	17,4 A
Síťové připojení ($U_{ac,r}$)			1-NPE 230 V	
Min. výstupní napětí ($U_{ac\ min}$)			180 V	
Max. výstupní napětí ($U_{ac\ max}$)			270 V	
Frekvence (f_r)			50 Hz / 60 Hz	
Frekvenční rozsah ($f_{min} - f_{max}$)			46 - 65 Hz	
Činitel zkreslení			< 3 %	
Účinnost ($\cos \varphi_{ac,r}$)			0,85 - 1 ind. / cap.	
VŠEOBECNÉ ÚDAJE	25 V-1 ¹⁾	30 V-1	35 V-1	50 V-1
Rozměry (výška x šířka x hloubka)			673 x 434 x 250 mm	
Hmotnost			23,8 kg	
Krytí			IP 54 ²⁾	
Třída ochrany			1	
Kategorie přepětí (DC/AC)			2 / 3	
Spotřeba v noci			< 1 W	
Koncepte střídače			vysokofrekvenční transformátor	
Chlazení			řízení chlazení vzduchem	
Montáž			vnitřní a venkovní instalace	
Rozsah okolní teploty			-20 - +55 °C	
Přípustná vlhkost vzduchu			0 - 95 %	
Technologie připojení DC			připojení pomocí šroubových svorek, 1,5 - 16 mm ²	
Technologie připojení AC			připojení pomocí šroubových svorek, 2,5 - 35 mm ²	
Certifikace a normy			DIN V VDE V 0126-1-1, ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, G83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, Guida per le connessioni alla rete elettrica di ENEL Distribuzione, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3	

¹⁾ Střídače Fronius IG Plus 25 V-1 nejsou určeny pro použití v Itálii.

²⁾ Dodržujte pokyny pro správnou instalaci střídače, které jsou uvedeny v návodu k obsluze.

Sunpower

SUNPOWER™

E18 / 230 SOLAR PANEL

EXCEPTIONAL EFFICIENCY AND PERFORMANCE

BENEFITS

Highest Efficiency

SunPower™ Solar Panels are the most efficient photovoltaic panels on the market today.

More Power

Our panels produce more power in the same amount of space—up to 50% more than conventional designs and 100% more than thin film solar panels.

Reduced Installation Cost

More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

Reliable and Robust Design

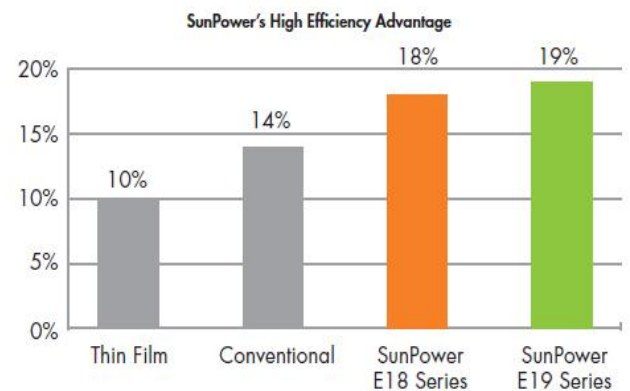
Proven materials, tempered front glass, and a sturdy anodized frame allow panel to operate reliably in multiple mounting configurations.



SPR-230E-WHT-D



The SunPower™ 230 Solar Panel provides today's highest efficiency and performance. Utilizing 72 all back-contact solar cells, the SunPower 230 delivers a total panel conversion efficiency of 18.5%. The panel's reduced voltage-temperature coefficient and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.



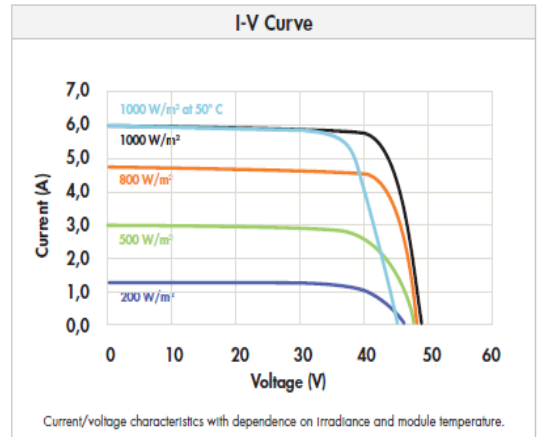
SUNPOWER™

E18 / 230 SOLAR PANEL

EXCEPTIONAL EFFICIENCY AND PERFORMANCE

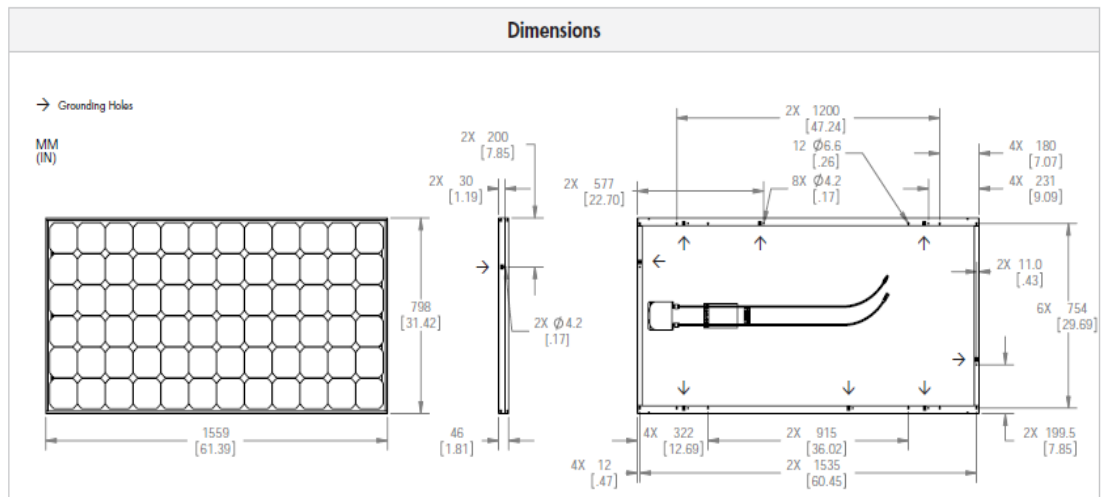
Electrical Data		
<small>Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance of 1000W/m², AM 1.5, and cell temperature 25° C</small>		
Peak Power (+5/-3%)	P _{max}	230 W
Efficiency	η	18.5 %
Rated Voltage	V _{mpp}	40.5 V
Rated Current	I _{mpp}	5.68 A
Open Circuit Voltage	V _{oc}	48.2 V
Short Circuit Current	I _{sc}	6.05 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	-0.38% / K
	Voltage (V _{oc})	-132.5mV / K
	Current (I _{sc})	3.5mA / K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		20 A

Mechanical Data	
Solar Cells	72 SunPower all-back contact monocrystalline
Front Glass	High transmission tempered glass
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 (mm)
Output Cables	1000mm length cables / MultiContact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (black)
Weight	33.1 lbs. (15.0 kg)



Tested Operating Conditions	
Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to + 85° C)
Max load	113 psf 550kg/m ² (5400 Pa) front – e.g. snow; 50 psf 245kg/m ² (2400 Pa) front and back – e.g. wind
Impact Resistance	Hail 1 in (25 mm) at 52mph (23 m/s)

Warranties and Certifications	
Warranties	25 year limited power warranty 10 year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703. Class C Fire Rating



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
Visit sunpowercorp.com for details

SUNPOWER and the SUNPOWER logo are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation.
© February 2010 SunPower Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

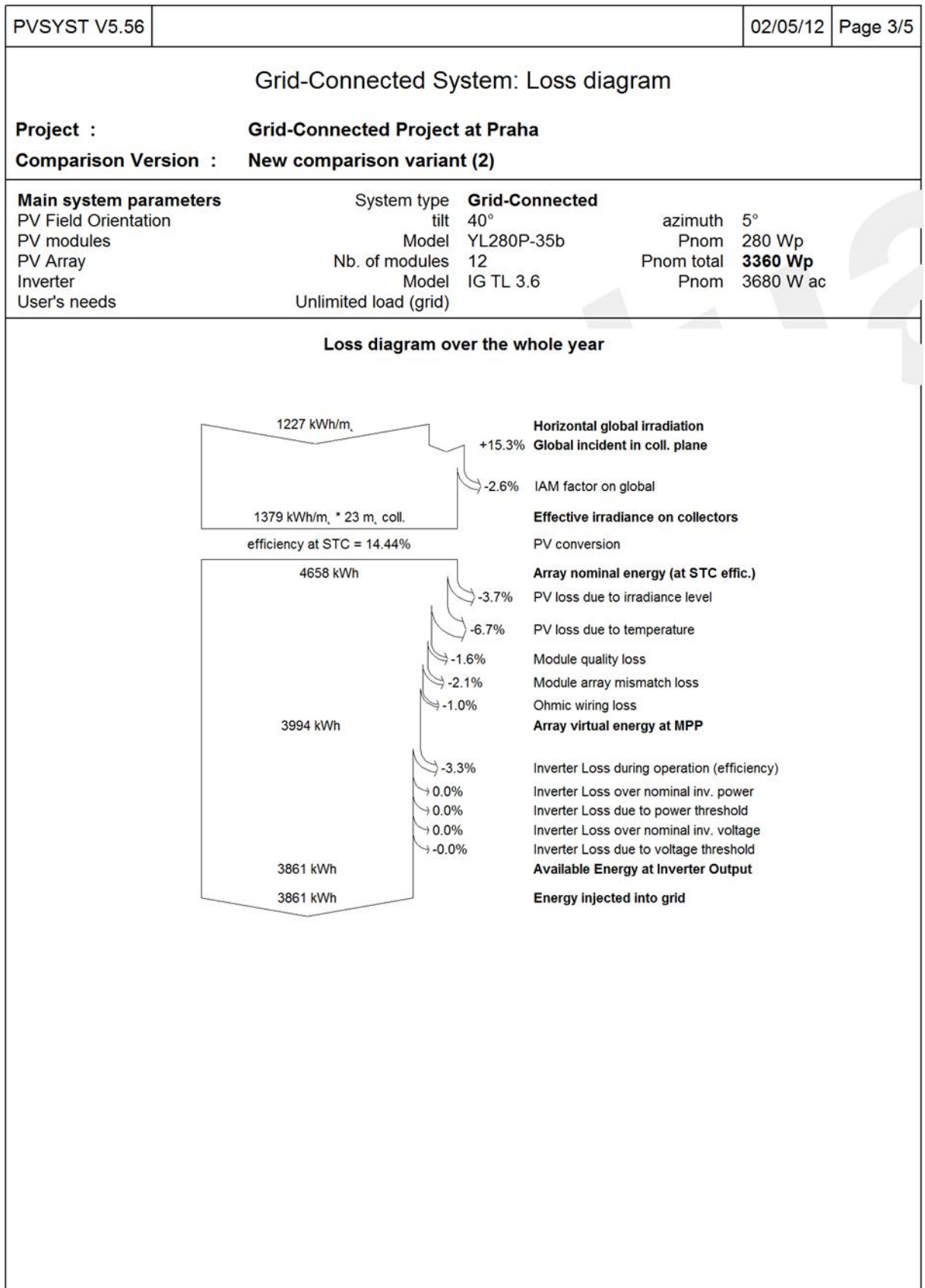
Varianta A

PVSYST V5.56		02/05/12	Page 1/5
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Grid-Connected Project at Praha		
Geographical Site	Chur	Country	Switzerland
Situation	Latitude 46.5°N	Longitude	9.3°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	590 m
	Albedo 0.20		
Measured data :	N13-Chur Highway sound Barrier / TNC Consulting AG		
Comparison Version :	New comparison variant (2)		
	Simulation date	02/05/12 09h24	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 40°	Azimuth	5°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-poly	Model	YL280P-35b
		Manufacturer	Yingli Solar
Number of PV modules	In series	12 modules	In parallel 1 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	12	Unit Nom. Power 280 Wp
Array global power	Nominal (STC)	3360 Wp	At operating cond. 2989 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	386 V	I mpp 7.7 A
Total area	Module area	23.4 m_l	Cell area 21.0 m _l
Inverter	Model	IG TL 3.6	
	Manufacturer	Fronius	
Characteristics	Operating Voltage	350-700 V	Unit Nom. Power 3.68 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m _l K	Uv (wind) 0.0 W/m _l K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m _l , Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	851 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Parameter 0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

Varianta A

PVSYST V5.56								02/05/12	Page 2/5
Grid-Connected System: Main results									
Project :		Grid-Connected Project at Praha							
Comparison Version :		New comparison variant (2)							
Main system parameters			System type	Grid-Connected					
PV Field Orientation		tilt	40°	azimuth	5°				
PV modules		Model	YL280P-35b	Pnom	280 Wp				
PV Array		Nb. of modules	12	Pnom total	3360 Wp				
Inverter		Model	IG TL 3.6	Pnom	3680 W ac				
User's needs		Unlimited load (grid)							
Main simulation results			Produced Energy	3861 kWh/year	Specific prod.	1149 kWh/kWp/year			
System Production		Performance Ratio PR	81.2 %						
Investment		Global incl. taxes	175162 CSK		Specific	52.1 CSK/Wp			
Yearly cost		Annuities (Loan 0.0%, 0 years)	175162 CSK/yr		Running Costs	0 CSK/yr			
Energy cost			45.4 CSK/kWh						
Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 3360 Wp				Performance Ratio PR					
New comparison variant (2)									
Balances and main results									
	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR	
	kWh/m _i	°C	kWh/m _i	kWh/m _i	kWh	kWh	%	%	
January	40.1	2.47	64.7	63.1	194.0	186.3	12.82	12.31	
February	65.6	0.03	103.9	101.8	312.5	302.2	12.85	12.42	
March	108.8	4.19	142.1	139.0	413.5	400.3	12.44	12.04	
April	130.6	10.22	141.7	138.0	399.6	386.6	12.05	11.66	
May	176.1	15.39	175.2	170.1	480.4	465.5	11.72	11.35	
June	166.7	16.78	158.7	154.0	433.7	420.2	11.68	11.31	
July	156.5	16.81	152.4	148.1	416.2	402.7	11.67	11.29	
August	154.8	17.84	165.3	161.2	446.5	433.4	11.54	11.20	
September	98.4	13.39	115.0	112.1	321.5	310.5	11.95	11.54	
October	58.5	8.98	79.3	77.4	228.0	219.3	12.29	11.82	
November	42.2	3.06	67.5	66.0	200.1	192.4	12.66	12.17	
December	29.2	1.88	49.2	48.0	147.5	141.2	12.80	12.26	
Year	1227.4	9.31	1415.1	1378.9	3993.6	3860.7	12.06	11.66	
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation		EArray	Effective energy at the output of the array				
	T Amb	Ambient Temperature		E_Grid	Energy injected into grid				
	GlobInc	Global incident in coll. plane		EffArrR	Effic. Eout array / rough area				
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		EffSysR	Effic. Eout system / rough area				

Varianta A



Varianta B

PVSYST V5.56		02/05/12	Page 1/4
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Grid-Connected Project at Praha		
Geographical Site	Chur	Country	Switzerland
Situation	Latitude 46.5°N	Longitude	9.3°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	590 m
	Albedo 0.20		
Measured data :	N13-Chur Highway sound Barrier / TNC Consulting AG		
Comparison Version :	New comparison variant moje zdenek povedlo		
	Simulation date	30/04/12 18h04	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 40°	Azimuth	5°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-mono	Model	SPR-230-WHT-D
		Manufacturer	SunPower
Number of PV modules	In series	9 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	18	Unit Nom. Power 230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	4140 Wp	At operating cond. 3730 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	327 V	I mpp 11 A
Total area	Module area	22.4 m₂	Cell area 20.1 m ₂
Inverter	Model	IG Plus 4	
	Manufacturer	Fronius	
Characteristics	Operating Voltage	230-500 V	Unit Nom. Power 4.00 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ₂ K	Uv (wind) 0.0 W/m ₂ K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ₂ , Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	481 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Parameter 0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

Varianta B

PVSYST V5.56			02/05/12	Page 2/4				
Grid-Connected System: Main results								
Project :		Grid-Connected Project at Praha						
Comparison Version :		New comparison variant moje zdenek povedlo						
Main system parameters		System type	Grid-Connected					
PV Field Orientation		tilt	40°	azimuth 5°				
PV modules		Model	SPR-230-WHT-D	Pnom 230 Wp				
PV Array		Nb. of modules	18	Pnom total 4140 Wp				
Inverter		Model	IG Plus 4	Pnom 4000 W ac				
User's needs		Unlimited load (grid)						
Main simulation results		System Production	Produced Energy 4616 kWh/year	Specific prod. 1115 kWh/kWp/year				
			Performance Ratio PR 78.8 %					
Investment		Global incl. taxes	419855 CSK	Specific 101 CSK/Wp				
Yearly cost		Annuities (Loan 0.0%, 0 years)	419855 CSK/yr	Running Costs 0 CSK/yr				
Energy cost			91.0 CSK/kWh					
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 4140 Wp</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>Performance Ratio PR</p> </div> </div>								
New comparison variant moje zdenek povedlo								
Balances and main results								
	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m _i	°C	kWh/m _i	kWh/m _i	kWh	kWh	%	%
January	40.1	2.47	64.7	63.1	235.5	219.5	16.27	15.16
February	65.6	0.03	103.9	101.8	380.6	359.5	16.35	15.45
March	108.8	4.19	142.1	139.0	506.9	478.5	15.93	15.04
April	130.6	10.22	141.7	138.0	491.1	463.1	15.47	14.59
May	176.1	15.39	175.2	170.1	593.0	560.1	15.12	14.28
June	166.7	16.78	158.7	154.0	535.0	504.6	15.05	14.20
July	156.5	16.81	152.4	148.1	513.6	483.3	15.05	14.17
August	154.8	17.84	165.3	161.2	553.1	522.6	14.94	14.11
September	98.4	13.39	115.0	112.1	395.3	371.4	15.35	14.42
October	58.5	8.98	79.3	77.4	279.1	260.0	15.72	14.64
November	42.2	3.06	67.5	66.0	243.7	227.5	16.11	15.04
December	29.2	1.88	49.2	48.0	178.9	165.5	16.23	15.01
Year	1227.4	9.31	1415.1	1378.9	4905.7	4615.8	15.48	14.57
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array				
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid				
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area				
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area				

Varianta B

